



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 059 651 A1** 2009.06.18

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 059 651.2**

(22) Anmeldetag: **10.12.2007**

(43) Offenlegungstag: **18.06.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 30/04** (2006.01)

G01N 30/20 (2006.01)

G01N 35/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Dionex Softron GmbH, 82110 Germering, DE

(74) Vertreter:

Patentanwälte Eder & Schieschke, 80796 München

(72) Erfinder:

**Hochgraeber, Hermann, 94560 Offenberg, DE;
 Ruegenberg, Gervin, 80689 München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

US 61 55 123 A

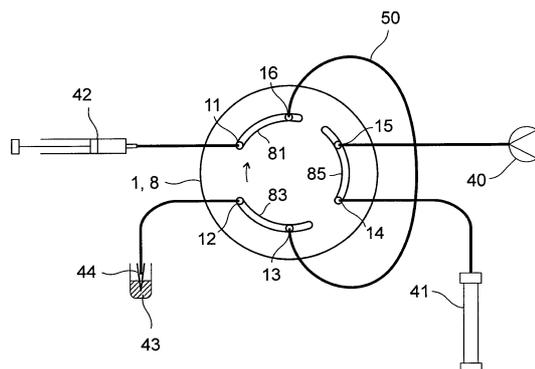
WO 06/0 83 776 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Probengeber für die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Probengeber für die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) mit einem Hochdruck-Injektionsventil (1, 2), das insbesondere im Betrieb bei sehr hohen Drücken im Vergleich zu Ventilen nach dem Stand der Technik eine erheblich verbesserte Lebensdauer aufweist. Dieses Ziel wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass die Geometrie der Ventilkomponenten so angepasst wird und dass die Beschaltung des Hochdruck-Injektorventils so festgelegt wird, dass die Schaltvorgänge nicht in einer die Lebensdauer reduzierenden Richtung erfolgen. Die Nuten (81, 83, 85; 61, 63, 65, 66; 21, 23, 25) im Rotor (2) und/oder die Port-Öffnungsquerschnitte (131, 151) im Stator (1) und die Drehrichtung sind so gewählt, dass Fluidströmungen von unter Hochdruck stehenden Nuten (81, 83, 85; 61, 63, 65, 66; 21, 23, 25) in Richtung auf enge, im Wesentlichen drucklose Ports (11, 12, 13, 16) vermieden werden. Dies gilt insbesondere für den Umschaltvorgang von INJECT auf LOAD, dass die Probenschleife (50, 501) ein relativ großes Totvolumen von komprimiertem Fluid enthält. Weiterhin kann das Ventil erfindungsgemäß so angesteuert werden, dass eine angemessene Zeit zum Abbau schädigender oder unerwünschter Druckdifferenzen zur Verfügung steht. Die Lebensdauer eines erfindungsgemäßen Hochdruck-Injektionsventils (1, 2) ist nur durch den unvermeidlichen Abrieb zwischen Rotor (2) und Stator (1) sowie ggf. die abrasive Wirkung beispielsweise von Schmutzpartikeln oder ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Probengeber für die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC), insbesondere einen automatischen Probengeber, wie er in der HPLC zur Probeninjektion verwendet wird, mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1.

[0002] In der HPLC muss eine zu untersuchende Probe in einen Hochdruck-Flüssigkeitsstrom eingespeist werden, wobei dieser nur so kurz wie möglich unterbrochen werden darf. Für diesen Zweck werden Hochdruck-Injektionsventile verwendet, die eine nahezu unterbrechungsfreie Umschaltung des Flüssigkeitsstroms ermöglichen. Ein solcher Aufbau ist beispielsweise in der US-Patentschrift 3,530,721 beschrieben, die ursprüngliche Anmeldung dazu stammt bereits aus dem Jahre 1965.

[0003] Die Weiterentwicklung eines solchen Injektionsventils ist beispielsweise in der US-Patentschrift 4,242,909 erwähnt. Das Grundprinzip des dort gezeigten Ventils hat sich inzwischen in der HPLC weitgehend durchgesetzt. Da vorliegende Erfindung auf diesem Ventiltyp basiert, wird das Prinzip im Folgenden näher erläutert.

[0004] [Fig. 1](#) zeigt in schematischer Darstellung ein solches Hochdruckventil nach dem Stand der Technik. Es besteht aus einem Stator **1** und einem Rotor **2**. Der Stator **1** weist insgesamt sechs Ein- und Ausgangsports **11**, **12**, **13**, **14**, **15**, **16** auf. Über diese Ports kann das Injektionsventil über Kapillarverbindungen mit den anderen Funktionselementen des HPLC-Systems verbunden werden. Die dafür benötigten Hochdruckverschraubungen sind der Übersichtlichkeit halber in [Fig. 1](#) nicht dargestellt. Innerhalb des Ventils sind die Ports als Bohrungen ausgebildet, die zur anderen Seite **10** des Stators **1** führen. Abweichend von der vereinfachten Darstellung in den Zeichnungen ist bei praktisch realisierten Ventilen der Lochkreisdurchmesser auf der Seite der Hochdruckanschlüsse meist größer als auf der anderen Seite **10**. Der Rotor weist eine Anzahl bogenförmiger Nuten **21**, **23**, **25** auf, die genau auf die Bohrungen der Ein- und Ausgangsports ausgerichtet sind. Dies ist in [Fig. 1](#) durch punktierte Linien angedeutet. Zur deutlicheren Darstellung ist in [Fig. 1](#) der Rotor mit einem Abstand vom Stator gezeichnet. In zusammengebautem Zustand des Ventils ist dieser Abstand gleich Null, daher liegt die Oberfläche **20** des Rotors **2** unmittelbar auf der Oberfläche **10** des Stators **1**, wie in [Fig. 2](#) gezeigt.

[0005] [Fig. 2](#) zeigt ein betriebsbereit zusammengebautes Ventil nach dem Stand der Technik. Der Rotor wird mit einer Andruckkraft, die durch den Pfeil F angedeutet ist, gegen den Stator gepresst, so dass sich eine gemeinsame Grenzfläche **301** zwischen Rotor **1**

und Stator **2** ausbildet, an der die beiden Teile gegeneinander dichten. Die Andruckkraft F wird dabei so bemessen, dass die Anordnung auch bei den höchsten zu erwartenden Drücken noch dicht ist.

[0006] In der in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigten ersten Schaltstellung des Ventils sind die Nuten **21**, **23**, **25** zu den Ein- und Ausgangsports **11** bis **16** so ausgerichtet, dass sie drei Verbindungen zwischen je zwei benachbarten Ein- und Ausgangsports herstellen, und zwar ist Port **11** über die Nut **21** mit Port **16** verbunden, Port **13** mit **12** sowie Port **15** mit **14**. Aufgrund der Dichtwirkung an der Grenzfläche **301** kann also beispielweise über den Port **11** zugeführte Flüssigkeit ausschließlich an Port **12** austreten.

[0007] Zum Umschalten des Ventils in eine zweite Schaltstellung kann der Rotor gegenüber dem Stator um 60° verdreht werden, so dass die Nuten nun jeweils diejenigen Ports miteinander verbinden, die zuvor keine Verbindung hatten. Die Drehrichtung ist in [Fig. 1](#) durch einen Pfeil auf dem Rotor angedeutet.

[0008] Die Umschaltung wird durch einen motorischen Antrieb ausgeführt, der den Rotor **2** gegenüber dem Stator **1** verdrehen kann. Der Antrieb wurde der Übersichtlichkeit halber in den Zeichnungen weggelassen.

[0009] [Fig. 3](#) zeigt ein Hochdruckventil nach dem Stand der Technik in einer zweiten Schaltstellung. Der Rotor **2** ist wie in [Fig. 1](#) mit einem Abstand zum Stator gezeichnet, um eine bessere Erkennbarkeit zu erreichen. In betriebsbereit zusammengebautem Zustand des Ventils wird der Rotor dagegen analog zu [Fig. 2](#) auf den Stator gepresst.

[0010] In dieser zweiten Schaltstellung sind die oben genannten Verbindungen unterbrochen, stattdessen ist Port **11** nun über die Nut **21** mit Port **12** verbunden, Port **13** mit Port **14** sowie Port **15** mit Port **16**.

[0011] Der Vorteil derartiger Ventile besteht darin, dass sie bei ausreichend hoher Andruckkraft F für sehr hohe Drücke verwendbar sind. Außerdem können die Bohrungen der Ports **11**, **12**, **13**, **14**, **15**, **16** so angeordnet werden, dass die Enden auf einem Kreis mit sehr geringem Radius liegen. Die Nuten **21**, **23**, **25** liegen dann ebenfalls auf einem Kreis mit sehr geringem Radius, so dass die Totvolumina des Ventils sehr klein gehalten werden können.

[0012] Hochdruck-Injektionsventile mit zwei Schaltstellungen und 6 Ports werden in der HPLC in der Regel verwendet, um Probenflüssigkeit in einen unter Hochdruck stehenden Flüssigkeitsstrom einzuspeisen. Ein gängiges Verfahren ist das sogenannte „Pulled Loop“ Injektionsprinzip. Dieses wird anhand [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) schematisch und vereinfacht erläu-

tert.

[0013] [Fig. 4](#) zeigt ein Hochdruckventil nach dem Stand der Technik in Draufsicht, daher befinden sich Stator **1** und Rotor **2** unmittelbar hintereinander. Der Stator ist durchsichtig dargestellt, so dass die Stellung der Nuten **21**, **23**, **25** im Rotor erkennbar ist. Das Ventil befindet sich in einer ersten Schaltstellung, die Drehrichtung des Rotors in eine zweite Schaltstellung ist durch einen Pfeil angedeutet. An das Ventil sind über Kapillarrohre, die in [Fig. 4](#) als dicke Linien dargestellt sind, die nachfolgend beschriebenen Komponenten angeschlossen.

[0014] An den Port **15** ist nun eine Hochdruckpumpe **40** angeschlossen, die eine konstante Flussrate bei hohem Druck liefern kann. In der gezeichneten Schaltstellung des Ventils gelangt dieser Fluss durch die Nut **25** zum Port **14** und von dort zu einer chromatographischen Säule **41**. An Port **12** ist eine Probenadel **44** angeschlossen, die gerade in einen Probenbehälter **43** eintaucht. Die Probenadel **44** kann statt in den Probenbehälter auch in einen Abfallbehälter bewegt werden, um überschüssige Flüssigkeit zu entsorgen. Der Abfallbehälter ist in den Zeichnungen nicht dargestellt, da es für die Erläuterung der Erfindung keine Rolle spielt, ob sich die Probenadel **44** gerade im Proben- oder im Abfallbehälter befindet. An Port **11** ist eine Spritze **42** zum Aufziehen von Probenflüssigkeit angeschlossen. Die beiden übrigen Ports **13**, **16** sind über eine Probenschleife **50** extern miteinander verbunden. Dadurch kann mit Hilfe der Spritze **42** Probenflüssigkeit aus dem Probenbehälter **43** in die Probenschleife **50** gezogen werden. Die gezeichnete Schaltstellung des Ventils wird als Load-Position bezeichnet, da das Probenmaterial in die Probenschleife geladen wird. Hierfür wird in der weiteren Beschreibung abkürzend der Begriff Load verwendet. Um das Probenmaterial in den Hochdruck-Flüssigkeitsstrom einzuspeisen, wird das Ventil in eine zweite Schaltstellung umgeschaltet, die in [Fig. 5](#) dargestellt ist.

[0015] [Fig. 5](#) zeigt das Hochdruckventil nach dem Stand der Technik in gleicher Darstellung wie [Fig. 4](#), jedoch in seiner zweiten Schaltstellung. Eine mögliche Drehrichtung des Rotors zurück in die erste Schaltstellung ist wiederum durch einen Pfeil angedeutet. Nun ist die Probenschleife **50** in den Flüssigkeitsweg zwischen Pumpe **40** und Säule **41** eingeschleift. Dadurch wird die zuvor in die Probenschleife **50** gezogene Probenflüssigkeit mit dem von der Pumpe **40** kommenden Flüssigkeitsstrom zur Säule **41** transportiert, wo die chromatographische Trennung stattfindet. Hinter der Säule sind in der Regel weitere Komponenten zur Analyse nachgeschaltet, die in [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) der Übersichtlichkeit halber weggelassen wurden. Die gezeichnete Schaltstellung des Ventils wird als INJECT-Position bezeichnet, da das Probenmaterial in den Hochdruck-Flüs-

sigkeitsstrom injiziert wird. In der weiteren Beschreibung wird hierfür abkürzend der Begriff Inject verwendet.

[0016] Das beschriebene Injektionsprinzip wird in der HPLC, teilweise in abgewandelter Form, standardmäßig verwendet. Die grundsätzliche Funktionsweise mit Load und Inject ist immer die gleiche, wobei unterschiedlichste Ausführungsformen verwendet werden. So ist beispielsweise in der US 4,939,943 ein Probengeber beschrieben, bei dem an Stelle der Spritze **42** eine Hochdruckspritze verwendet wird, die gleichzeitig einen Teil der Probenschleife **50** darstellt. Auch die Probenadel **44** ist dort Bestandteil der Probenschleife. Auch die benutzten Ventile können sich von der beschriebenen Ausführung unterscheiden, z. B. können weitere Ports für zusätzliche Funktionen vorhanden sein, außerdem kann die Anordnung der Nuten von dem in den Zeichnungen gezeigten Schema abweichen. Die Erfindung ist sinngemäß in gleicher Weise auch auf solche anderen Ausführungsformen von Probengebern anwendbar.

[0017] Als weiterer Stand der Technik ist eine spezielle Bauform von Hochdruck-Ventilen zu erwähnen. Solche Ventile sind von Fa. Rheodyne LLC, Kalifornien kommerziell erhältlich z. B. Model 7710 und 9710 und erlauben ein nahezu unterbrechungsfreies Umschalten des Pumpenflusses.

[0018] Das Grundprinzip derartiger Ventile nach dem Stand der Technik entspricht weitestgehend [Fig. 1](#) bis [Fig. 5](#) und soll anhand [Fig. 4](#) erklärt werden. Zusätzlich zu den im Rotor **2** befindlichen Nuten **21**, **23**, **25** befindet sich bei diesem Ventiltyp auch im Stator **1** eine einzelne Nut, die ausgehend von Port **14** im Stator parallel zu Nut **25** verläuft, jedoch bereits vor der Bohrung von Port **15** endet.

[0019] Während des Umschaltvorgangs von der Load-Position in die INJECT-Position bleibt durch diese Nut die direkte Verbindung zwischen Port **15** und **14** zunächst erhalten. Erst unmittelbar bevor die Nut **25** die Verbindung zwischen Port **15** und **16** herstellt, wird die direkte Verbindung unterbrochen. Die gleiche Wirkung kann auch erreicht werden, indem die Drehrichtung umgedreht wird und die Nut von Port **15** ausgeht und bereits vor der Bohrung von Port **14** endet. Diese Funktion wird vom Hersteller als „Make Before Break“ bezeichnet, da die bestehende Verbindung erst unterbrochen wird, wenn die neue Verbindung hergestellt wird.

[0020] Ein ähnliches Injektions-Hochdruckventil bzw. ein damit realisierter Probengeber für die HPLC ist auch in der WO 2006/083776 A2 beschrieben. Diese Schrift befasst sich mit dem Problem, auf die Chromatographiesäule wirkende und diese beeinträchtigenden bzw. zerstörende Druckschwankungen zu vermeiden, die durch Probengeber, bzw. die

Schaltvorgänge in den Hochdruck-Injektionsventilen erzeugt werden. Als Lösung dieses Problems wird ein Hochdruck-Injektionsventil angegeben, welches zusätzlich zu den im Rotor vorgesehenen Nuten auch im Stator zumindest eine zusätzliche Nut aufweist, die dazu dient, die Verbindung der beiden Hochdruck-Ports, an welchen die Pumpe und die Säule angeschlossen sind, bei einem Umschalten von LOAD auf INJECT möglichst lange aufrecht zu erhalten. Diese Verbindung wird sogar noch aufrecht erhalten, wenn bereits die dauernd mit einem der Probenschleifen-Ports verbundenen Nut ebenfalls den Pumpen-Port erreicht, so dass gleichzeitig die zunächst drucklose Probenschleife mit dem Pumpendruck beaufschlagt wird. Anschließend werden erst im letzten Winkelbereich der Drehbewegung des Rotors die Hochdruck-Ports getrennt und der Säulen-Port mit dem jeweils anderen Probenschleifen-Port verbunden. Auf diese Weise wird in der Säule praktisch keine Druckänderung mehr während der Schaltvorgänge erzeugt. Die Säule wird immer mit dem Pumpendruck beaufschlagt. Beim Umschalten von INJECT auf LOAD ist in dieser Schrift aufgezeigt, dass die Probenschleife in definierter Weise dadurch dekomprimiert werden kann, dass durch eine entsprechende Verlängerung der Nut im Rotor oder durch das Vorsehen einer im Stator ausgebildeten Statornut erst der mit der Spritze verbundene Port mit der auf ihn zu bewegten Rotornut und damit mit dem betreffenden Probenschleifen-Port verbunden wird, bevor der andere Probenschleifen-Port mit dem mit der Probennadel verbundenen Port verbunden wird. Durch dieses Voreilen wird zwar eine definierte Dekompression der Probenschleife erreicht, jedoch ergeben sich auch hier die nachstehend beschriebenen kritischen Schaltzustände, in denen eine Fluidströmung von einer Nut in einen engen Port auftritt, welche zu Schäden im Rotor und/oder Statur führen kann.

[0021] In der HPLC ist in den letzten Jahren ein Trend zu Trennsäulen mit geringerer Partikelgröße zu beobachten. Derartige Trennsäulen ermöglichen eine bessere Trennleistung und eine schnellere Trennung, weshalb man von Fast-HPLC spricht.

[0022] Da mit sinkender Partikelgröße der Flusswiderstand sehr stark ansteigt, sind für die Fast-HPLC erheblich höhere Drücke erforderlich. Der maximal auftretende Säulendruck liegt bei konventioneller HPLC typischerweise zwischen 100 und 400 bar, während bei der Fast-HPLC meist 600 bis 700 bar erforderlich sind, teilweise sogar über 1000 bar. Es zeichnet sich bereits ein Trend zu Säulen mit noch besserer Trennleistung ab, die sogar noch höhere Drücken bis ca. 2000 bar erfordern.

[0023] Um Hochdruck-Injektionsventile bei derart hohen Drücken betreiben zu können, muss die Anpresskraft F (siehe [Fig. 2](#)) entsprechend erhöht wer-

den, damit das Ventil dicht ist. Damit der Rotor, der aus Kosten- und technischen Gründen normalerweise aus Kunststoff gefertigt wird, dieser Kraft standhält, verwendet man nach dem Stand der Technik glas- oder kohlefaserverstärkte Kunststoffe. Weiterhin kommt es durch die erhöhte Anpresskraft F zu einer erhöhten Materialbeanspruchung und folglich übermäßiger Abnutzung, so dass die Lebensdauer des Ventils (Zahl der Schaltspiele) unbefriedigend ist.

[0024] Dieses Problem kann durch entsprechende Materialwahl bzw. Beschichtung gelöst werden. So ist in der US 6,453,946 eine spezielle Beschichtung beschrieben, die eine kostengünstige Herstellung von Rotor und Stator erlaubt und gleichzeitig den Verschleiß der Materialien stark verringert.

[0025] Es hat sich jedoch gezeigt, dass sich solche verbesserten Ventile zwar günstiger verhalten, aber bei Betrieb mit sehr hohen Drücken dennoch bereits nach einer relativ geringen Anzahl von Schaltzyklen ausfallen.

[0026] Die nähere Untersuchung solcher ausgefallener Ventile nach dem Stand der Technik hat gezeigt, dass die Ausfälle hauptsächlich durch Materialabtrag an bestimmten Stellen des Rotors verursacht werden. [Fig. 6](#) zeigt ein Foto eines solchen, beschädigten Rotors. Die Nuten **21**, **23**, **25** erscheinen durch die seitliche Beleuchtung schattiert. Die beschädigten Bereiche **201**, **202** sind durch Kreise gekennzeichnet und liegen in der Verlängerung der Nuten **23** und **25**. Bei der Beschädigung **201** ist in der Oberfläche des Rotors ein tiefes Loch entstanden.

[0027] Weiterhin wurde festgestellt, dass auch am Stator Schäden entstehen, und zwar in der Umgebung der Bohrungen für die Ports. [Fig. 7](#) zeigt das Foto eines derart beschädigten Stators mit den beschädigten Bereichen **101**, **102**.

[0028] Die Entstehung derartiger Schäden kann wie folgt erklärt werden:

In der INJECT-Position [Fig. 5](#) stehen die Probenschleife **50** und die Nuten **23** und **25** unter Hochdruck. Während des Umschaltvorgangs in die LOAD-Position ([Fig. 4](#)) bleibt die Nut **23** unter Hochdruck, da die Probenschleife aufgrund der Kompressibilität des darin enthaltenen Lösungsmittels den Druck aufrecht erhält. [Fig. 8](#) zeigt in seitlicher Ansicht die Stellung der Nut **23** kurz vor Ende des Umschaltens von Inject nach Load, wenn der Schaden im Rotor entsteht. Die Krümmung der Nut **23** ist dabei zeichnerisch nicht berücksichtigt. Vom Rotor **2** ist nur der Bereich um die Nut **23** gezeigt, vom Stator **1** der Bereich zwischen den Ports **12** und **13**.

[0029] Der Übergang von den Bohrungen der Ports **12**, **13** zur Dichtfläche des Stators **1** weist – wie auch bei allen anderen Ports **11** bis **16** – jeweils eine Fase

121, 131 auf. Hierdurch werden scharfe Kanten oder gar Grate vermieden, die den Rotor beschädigen könnten. In der in [Fig. 8](#) gezeigten Position hat die Nut **23** gerade eben die Fase **121** erreicht, so dass sich zwischen dem Nutende und dem Port **12** gerade eben ein winziger Durchlass bildet.

[0030] Die Probenschleife **50** und somit auch die Nut **23** stehen noch unter nahezu vollem Druck, während der Port **12** mit dem Probenbehälter **43** oder Abfallbehälter verbunden ist und daher normalen Luftdruck aufweist. Somit wirkt zunächst die gesamte Druckdifferenz auf den winzigen Durchlass, welcher gleichzeitig nur eine sehr geringe Länge aufweist.

[0031] Dieser „Engpass“ führt wie bei einer Düse zu außerordentlich hohen Strömungsgeschwindigkeiten, und die aufgrund der Kompressibilität des Lösungsmittels in der Probenschleife gespeicherte Energie wird in kinetische Energie umgewandelt. Dabei entsteht wie z. B. beim Wasserstrahlschneiden eine sehr hohe Energiedichte, die in der Nähe befindliches Material zerstören kann.

[0032] In [Fig. 8](#) ist das von der Probenschleife einströmende Lösungsmittel durch einen Pfeil **61** gekennzeichnet, das in Richtung Probenbehälter oder Abfallbehälter ausströmende Lösungsmittel durch einen Pfeil **62** und der Strömungsverlauf an der Fase **121** durch ein Bündel von Pfeilen **63**. Die Strömung, die an der Fase den Engpass überwindet, trifft mit extrem hoher Geschwindigkeit auf den gegenüberliegenden Rand der Fase und wird dort so abgelenkt, dass eine kleine Menge Rotormaterial an dieser Stelle geradezu ausgewaschen wird. Dieser Vorgang wiederholt sich mit jedem Schaltzyklus, so dass sich der Schaden akkumuliert, was zu dem in [Fig. 6](#) gezeigten Loch **201** führen kann.

[0033] [Fig. 9](#) zeigt den Strömungsverlauf **63** wie [Fig. 8](#), jedoch in einer Ansicht senkrecht von oben. In dieser Darstellung ist erkennbar, dass die Strömung **63** beim Auftreffen auf den gegenüberliegenden Rand der Fase **121** durch die gekrümmte Form der Fase sozusagen auf die Schadensstelle fokussiert wird, was den schädlichen Effekt noch verstärkt.

[0034] Der in [Fig. 8](#) gezeigte Effekt tritt beim Zurückschalten von Load- nach Inject ebenfalls auf, wenn die Nut **25** den Port **16** erreicht. In diesem Moment ist die Probenschleife **50** drucklos, da sie in der LOAD-Position mit dem Probenbehälter **43** verbunden war. Die Nut **25** steht dagegen unter dem vollen Druck der Pumpe. Dies führt zu den in [Fig. 6](#) gezeigten Beschädigungen **202** am Ende der Nut **25**. Die einzelnen Schadensbilder unterscheiden sich etwas, weil hierauf auch die angeschlossenen Komponenten (z. B. Flusswiderstände, gespeicherte fluidische Energie) einen Einfluss haben.

[0035] Wie in [Fig. 6](#) zu erkennen, tritt das Problem an den übrigen Nutenden nicht auf, obwohl auch dort teilweise bei den Schaltvorgängen die gleichen Druckunterschiede zwischen den betreffenden Ports wirksam sind. So erreicht beispielsweise beim Umschalten von Inject nach Load die drucklose Nut **21** den Port **16**, welcher mit der Probenschleife **50** verbunden ist, die unter Druck steht. Dennoch tritt am Ende der Nut **21** keine Beschädigung auf.

[0036] Dies kann anhand von [Fig. 10](#) wie folgt erklärt werden:

[Fig. 10](#) zeigt in gleicher Darstellung wie [Fig. 8](#) die Situation kurz vor Erreichen der LOAD-Position, also bevor die Nut **21** den Port **16** erreicht. Hier tritt die Strömung **64** über den Port **16** ein, fließt dann durch den Engpass an der Fase **161** in die Nut **21** und tritt als Strömung **65** an Port **11** wieder aus. Auch hier gibt es am Übergang vom Port **16** zur Nut **21** einen Engpass, an dem eine hohe Druckdifferenz wirksam ist und somit extrem hohe Strömungsgeschwindigkeiten auftreten.

[0037] Der wesentliche Unterschied zu [Fig. 8](#) besteht darin, dass die Strömung **66** diesen Engpass in umgekehrter Richtung durchfließt wie die Strömung **63**. Dadurch trifft die Strömung nicht auf den gegenüberliegenden Rand der Fase **161** und auch sonst auf kein festes Material, sondern lediglich auf die in der Nut **21** befindliche Flüssigkeit. Hierdurch wird die Strömung so stark gebremst bzw. die kinetische Energie abgebaut, dass die restliche kinetische Energie zu gering ist, um Materialschäden auszulösen.

[0038] Somit kann davon ausgegangen werden, dass unter sonst gleichen Bedingungen ein Schaltvorgang mit umgekehrter Strömungsrichtung unschädlich ist. Diese Erkenntnis wird, wie weiter unten erläutert, für die erfindungsgemäße Lösung des Problems genutzt.

[0039] Allerdings ergibt sich bei der in [Fig. 10](#) gezeigten Situation, also beim Erreichen der LOAD-Position, ein unerwünschter Druckstoß auf die an Port **11** angeschlossene Spritze **42**, da sich in diesem Moment der Druck in der Probenschleife **50** über Port **11** entlädt.

[0040] Die in [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) gezeigten Schaltrichtungen des Ventils sind nach dem Stand der Technik nicht zwingend vorgegeben, vielmehr kann das Umschalten von der Load- in die INJECT-Position auch in umgekehrter Drehrichtung des Rotors erfolgen. In diesem Fall werden die Beschädigungen zwar an den genannten Stellen vermieden, dafür treten aber an anderen Stellen gleichartige Schäden auf. Diese lassen sich analog zur obigen Betrachtung erklären.

[0041] Die bisherigen Erläuterungen erklären zwar die auftretenden Schäden im Rotor **2**, nicht aber die

in [Fig. 7](#) gezeigten Schäden im Stator **1**. Diese können wie folgt erklärt werden:

Die Rotoren **2** bestehen, wie bereits erläutert, in der Regel aus faserverstärkten Kunststoffen. Bei der Herstellung der Nuten **21**, **23**, **25** lässt sich nicht vollständig vermeiden, dass Enden der Fasern aus dem Kunststoff hervorstehen. Solche vorstehenden Fasern befinden sich auch und besonders in der Nähe der Ränder der Nuten, also im zusammengebauten Zustand des Ventils in unmittelbarer Nähe der Oberfläche des Stators **1**. Strömt das Lösungsmittel, wie in [Fig. 8](#) gezeigt, von der Nut **23** zum Port **12**, so befinden sich die an der linken Oberkante der Nut **23** hervorstehenden Faserenden genau dort, wo die Strömung **63** mit extrem hoher Geschwindigkeit den Engpass passiert. Dadurch werden die Faserenden in den Engpass gedrückt und verursachen dort abrasive Schäden, vor allem weil der Rotor **2** während des Schaltens des Ventils gegen den Stator **1** bewegt wird.

[0042] Auch diese Schäden entstehen nicht, wenn die Strömungsrichtung wie in [Fig. 11](#) umgekehrt ist. In diesem Fall werden die Enden der vorstehenden Fasern durch die Strömung **66** nach rechts, also in Richtung der Mitte der Nut **21** ausgerichtet, wo sie keine Schäden durch Abrasion erzeugen können.

[0043] Aus diesem Grund entstehen die in [Fig. 7](#) gezeigten Schäden **101**, **102** an den gleichen Ports, an denen auch die in [Fig. 6](#) gezeigten Schäden **201**, **202** auftreten, nämlich Port **12** und **16**.

[0044] Der beschriebene Schädigungsmechanismus ist nur wirksam, wenn an einem der beteiligten Ports die in [Fig. 8](#) dargestellte Situation eintritt. Dies ist nur während der Umschaltvorgänge von Load nach Inject und umgekehrt für einen kurzen Moment der Fall. Daher könnte eine Verbesserung dadurch erzielt werden, dass man diesen Umschaltvorgang beschleunigt. Auf diese Weise könnte die Dauer der kritischen Situation verringert und somit die Schäden reduziert werden. Allerdings kann auf diese Weise der Schaden nicht völlig vermieden, sondern nur in genau dem Maße verringert werden, wie die Schaltgeschwindigkeit erhöht wird. Der Spielraum für eine noch höhere Schaltgeschwindigkeit ist aber gering, da dies den Aufwand und folglich die Kosten stark in die Höhe treiben würde.

[0045] Ein weiterer Lösungsansatz könnte darin bestehen, die Form der Fasern **121**, **131** zu verändern und insbesondere zu vergrößern, so dass die Strömung weniger stark auf den Rotor gelenkt wird. Auch hier besteht aber nur ein geringer Spielraum, da die Fasern bei Ventilen nach dem Stand der Technik darauf optimiert sind, dass durch den Schaltvorgang möglichst wenig Abrieb auftritt und dass die Totvolumina so klein wie möglich sind. Zudem würden durch einen solchen Lösungsansatz allenfalls die Schäden

201, **202** im Rotor vermieden, nicht jedoch die Schäden **101**, **102** im Stator.

[0046] Aufgabe vorliegender Erfindung ist es somit, einen Probengeber für die HPLC zu schaffen, bei dem das erforderliche Umschalten von Flüssigkeitsströmen mittels eines Hochdruck-Injektionsventils zwischen sehr hohen Druckdifferenzen ermöglicht ist, wobei gleichzeitig eine ausreichende Lebensdauer des Hochdruck-Injektionsventils gewährleistet ist. Der Probengeber und insbesondere das von diesem umfasste Hochdruck-Injektionsventil soll dabei einen einfach zu realisierenden Aufbau aufweisen. Zusätzliche Totvolumina sollen möglichst vermieden werden.

[0047] Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

[0048] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass beim Stand der Technik die Hochdruck-Injektionsventile zumindest teilweise durch eine ungeeignete Wahl der Schaltrichtung, d. h. der Richtung der Drehbewegung des Rotors, beschädigt werden, wenn sehr hohe Druckdifferenzen zu schalten sind, und dass diese Beschädigungen vermieden werden können, wenn die Geometrie der Ventilkomponenten in geeigneter Weise angepasst wird und wenn die Beschaltung des Ventils so festgelegt wird, dass die Schaltvorgänge nicht in einer schädlichen Richtung erfolgen. Erfindungsgemäß wird insbesondere eine Beschädigung des Ventils beim Schalten von INJECT auf LOAD dadurch vermieden, dass die zumindest drei Nuten und/oder die Port-Öffnungsquerschnitte so vorgesehen und ausgebildet sind und die Drehrichtung so gewählt ist, dass bei einem Drehen des Rotors aus der INJECT-Position in die LOAD-Position die unter Hochdruck stehende Probenschleife in der Weise dekomprimiert wird,

(a) dass die Nuten und/oder die Port-Öffnungsquerschnitte so ausgebildet und angeordnet sind, dass zuerst die Verbindung zwischen demjenigen Probenschleifen-Port und demjenigen Load-Port hergestellt und aufrechterhalten wird, die durch die Bewegung der mit dem betreffenden Load-Port dauernd verbundenen Nut in Richtung auf den betreffenden Probenschleifen-Port entsteht, bevor die Verbindung zwischen dem anderen Probenschleifen-Port und dem anderen Load-Port hergestellt und aufrechterhalten wird, die durch die Bewegung der mit dem betreffenden Probenschleifen-Port dauernd verbundenen Nut in Richtung auf den betreffenden Load-Port entsteht (Funktion des Vorseilens zur Dekomprimierung der Probenschleife),

oder

(b) dass eine weitere Entspannungsnut (**66**) im Rotor (**2**) vorgesehen ist, die so ausgebildet ist, dass vor dem Erreichen der LOAD-Position in ei-

ner bestimmten Drehposition oder über einen bestimmten Winkelbereich hinweg eine Verbindung zwischen demjenigen Probenschleifen-Port (13) und demjenigen Load-Port (11) hergestellt und aufrechterhalten wird, welche nicht dauernd mit einer Nut verbunden sind, wobei das Ende der Entspannungsnut (66), welches mit dem Probenschleifen-Port (13) verbunden wird, und/oder der Port-Öffnungsquerschnitt, über einen ausreichend langen Entspannungsbereich konzentrisch und in Umfangsrichtung verlaufen, der so bemessen ist, dass die Strömungsgeschwindigkeiten der Fluidströmung, die beim Erreichen der Überdeckung von Entspannungsnut (66) und Port-Öffnungsquerschnitt entsteht, im Entspannungsbereich so weit reduziert werden, dass eine Beschädigung des Stators (1) und/oder des Rotors (2) vermieden wird.

[0049] Der Probenschleifen-Port, der zur definierten Dekompression als erster mit dem betreffenden, niederdruckseitigen Port verbunden wird, steht dabei unter Hochdruck, so dass sich in jedem Fall eine Strömung vom Port in Richtung in die betreffende Nut bzw. Entspannungsnut erzeugt wird. Auf diese Weise werden Schäden im Rotor und Stator auch bei extrem hohen Drücken vermieden.

[0050] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass theoretisch die zumindest drei Nuten nicht über die gesamte Länge in Umfangsrichtung und konzentrisch zur Drehachse verlaufen müssen. Zumindest in den (engeren) Winkelbereichen, innerhalb welcher diejenigen Positionen von Stator und Rotor zueinander liegen, in welchen eine Fluidströmung erfolgen soll, müssen die die Nuten bzw. die nutförmigen Erstreckungen der Port-Querschnittsöffnungen in Umfangsrichtung und konzentrisch zur Drehachse verlaufen. Bei einer derartigen Ausbildung eines Hochdruck-Injektionsventils existieren auch keine Nuten mehr, die dauernd mit einem Port verbunden sind. Auch bei derartigen Ausführungsformen wird jedoch der Vorteil erreicht, dass hohe Druckdifferenzen nur in der Weise geschaltet werden, dass sich eine Fluidströmung von einem unter Hochdruck stehendem Port oder sich nutförmig erstreckenden Portöffnungsquerschnitt in eine annähernd drucklose Nut ergibt, die zumindest in einem ausreichend langen Entspannungsbereich in Umfangsrichtung verläuft.

[0051] Insofern sollen im Rahmen dieser Schrift Hinweise auf Nuten, die sich in Umfangsrichtung und konzentrisch zur Drehachse erstrecken so verstanden werden, dass darunter auch solche Ausführungsformen fallen, in denen diese Bedingung nur innerhalb maßgeblicher Bereiche erfüllt ist.

[0052] Gleiches gilt für Hinweise, wonach Ports während einer Schaltbewegung dauernd mit einer Nut verbunden sind. Hierunter sind auch solche Aus-

führungsformen zu subsumieren, bei denen nur in maßgeblichen Positionen von Stator und Rotor zueinander, die betreffenden Ports mit den jeweiligen Nuten verbunden sind.

[0053] Nach einer Ausgestaltung der Erfindung kann diejenige Nut, die beim Umschalten von der INJECT-Position auf die LOAD-Position unter Aufrechterhalten der Verbindung zu dem betreffenden Load-Port auf den benachbarten Probenschleifen-Port zu bewegt wird (Load-Port-Nut), gegenüber derjenigen Nut vorseilend ausgebildet sein, welche während der Umschaltbewegung mit dem anderen der Probenschleifen-Ports verbunden ist und diesen in der LOAD-Position mit dem anderen der Load-Ports verbindet.

[0054] Nach einer anderen Ausgestaltung der Erfindung kann sich der Port-Öffnungsquerschnitt des Load-Ports, welcher nicht dauernd mit einer Nut verbunden ist, nutförmig in Richtung auf diejenige Nut erstrecken, die beim Umschalten von der INJECT-Position auf die LOAD-Position unter Aufrechterhalten der Verbindung zu dem betreffenden Load-Port auf diesen Probenschleifen-Port zu bewegt wird, wobei die Länge der nutförmigen Erstreckung des Port-Öffnungsquerschnitts so gewählt ist, dass die Funktion des Vorseilens zur Dekomprimierung der Probenschleife realisiert ist.

[0055] Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass keine Verlängerung der betreffenden Rotornut erforderlich ist, so dass insbesondere in Verbindung mit einer gleichzeitigen Verlängerung der benachbarten Rotornut auf die betreffende Rotornut zu, wie sie zur Realisierung nachstehend beschriebener vorteilhafter Ausführungsformen erforderlich sein kann, keine Dichtigkeitsprobleme durch eng benachbarte Nutenden entstehen können.

[0056] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann diejenige Nut, welche in der Load-Position die beiden Hochdruck-Ports verbindet, so lang ausgebildet sein, dass die beiden Hochdruck-Ports in derjenigen Drehposition, in welcher die Dekompression der Probenschleife stattfindet, oder über den gesamten Winkelbereich der Drehbewegung, in welchem die Dekompression der Probenschleife stattfindet, verbunden sind. Hierdurch wird der Druckabfall in der Säule während der Schaltbewegung, insbesondere während des Dekompressionsvorgangs der Probenschleife, minimiert.

[0057] Dieser Vorteil lässt sich auch bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung erreichen, bei der sich der Port-Öffnungsquerschnitt des Hochdruck-Ports, welcher während des Umschaltvorgangs nicht dauernd mit einer Nut verbunden ist, nutförmig in Richtung auf diejenige Nut erstreckt, die beim Umschalten von der INJECT-Position auf die

LOAD-Position unter Aufrechterhalten der Verbindung zu dem betreffenden Load-Port auf diesen Hochdruck-Port zu bewegt wird, wobei die Länge der nutförmigen Erstreckung des Port-Öffnungsquerschnitts so gewählt ist, dass die beiden Hochdruck-Ports (**14**, **15**) in derjenigen Drehposition, in welcher die Dekompression der Probenschleife stattfindet, oder über den gesamten Winkelbereich der Drehbewegung, in welchem die Dekompression der Probenschleife stattfindet, verbunden sind.

[0058] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann bei einem Drehen des Rotors aus der LOAD-Position in die INJECT-Position die im Wesentlichen drucklose Probenschleife in der Weise mit Hochdruck beaufschlagt werden, dass die Drehrichtung so gewählt ist und die Nuten und/oder die Port-Öffnungsquerschnitte so ausgebildet und angeordnet sind,

(a) dass zuerst die Verbindung zwischen einem der Hochdruck-Ports und demjenigen Probenschleifen-Port hergestellt und aufrechterhalten wird, welcher während der Umschaltbewegung dauernd mit einer Nut verbunden ist, wobei hierzu die mit diesem Probenschleifen-Port dauernd verbundene Nut in Richtung auf den Pumpen-Port bewegt wird, und

(b) dass erst anschließend die Verbindung zwischen dem andern Hochdruck-Port und dem anderen Probenschleifen-Port hergestellt und aufrechterhalten wird, wobei hierzu die während der Umschaltbewegung dauernd mit dem anderen Hochdruckport verbundene Nut in Richtung auf den betreffenden Probenschleifen-Port bewegt wird (Funktion des Vorauseilens zur Druckbeaufschlagung der Probenschleife).

[0059] Hierdurch ist gewährleistet, dass das Druckbeaufschlagen der Probenschleife an der Seite beginnt, an welcher die Pumpe eine Fluidströmung von einem druckbeaufschlagten Port in Richtung auf eine zunächst drucklose Nut erzeugt. Nachdem die Probenschleife unter Druck gesetzt wurde, kann dann die noch unter dem Säulendruck stehende Nut mit dem anderen Probenschleifen-Port ohne die Gefahr einer Beschädigung des Rotors bzw. Stators verbunden werden, da die Druckdifferenz infolge der geringen Schaltzeit, innerhalb der der Säulendruck nur geringfügig absinkt, relativ gering ist.

[0060] Dieses Vorauseilen der Verbindung des Pumpen-Ports mit dem betreffenden Ende der Probenschleife gegenüber dem Verbinden des anderen Endes der Probenschleife mit dem Säulen-Port kann dadurch erzeugt werden, dass diejenige Nut, die beim Umschalten von der LOAD-Position auf die INJECT-Position unter Aufrechterhalten der Verbindung zu dem betreffenden Probenschleifen-Port auf den benachbarten Hochdruck-Port zu bewegt wird (Probenschleifen-Port-Nut), gegenüber derjenigen

Nut vorauseilend ausgebildet ist, welche während der Umschaltbewegung mit dem anderen der Hochdruck-Ports verbunden ist und diesen in der INJECT-Position mit dem anderen der Probenschleifen-Ports verbindet.

[0061] Nach einer anderen Ausführungsform kann hierzu das Hochdruck-Injektionsventil auch so gestaltet sein, dass sich der Port-Öffnungsquerschnitt des Hochdruck-Ports, welcher während des Umschaltvorgangs nicht dauernd mit einer Nut verbunden ist, nutförmig in Richtung auf diejenige Nut erstreckt, die beim Umschalten von der LOAD-Position auf die INJECT-Position unter Aufrechterhalten der Verbindung zu dem betreffenden Load-Port auf diesen Hochdruck-Port zu bewegt wird, wobei die Länge der nutförmigen Erstreckung des Port-Öffnungsquerschnitts so gewählt ist, dass die Funktion des Vorauseilens zur Druckbeaufschlagung der Probenschleife realisiert ist.

[0062] Selbstverständlich kann das Vorauseilen in diesem Falle, ebenso wie bei der Dekompression der Probenschleife, auch durch eine Kombination dieser Maßnahmen erzeugt werden, d. h. durch eine entsprechende Verlängerung der jeweiligen Nut und gleichzeitig durch eine sich der betreffenden Nut vom jeweiligen Port entgegenstreckende Nut im Stator.

[0063] Nach der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Hochdruck-Injektionsventil eine ansteuerbare Antriebseinheit für die Drehbewegung des Rotor und eine Steuereinheit auf. Hierdurch lässt sich ein automatischer Probengeber realisieren.

[0064] Die Steuereinheit kann die Antriebseinheit derart ansteuern, dass die Dekompression der Probenschleife beim Umschalten von der INJECT-Position in die LOAD-Position über den vorbestimmten Probenschleifen-Port im Wesentlichen vollständig erfolgt. Hierzu kann die Steuereinheit die Geschwindigkeit der Drehbewegung so beeinflussen, dass die Zeitdauer, über welche eine Dekompression der Probenschleife über den gewünschten Port erfolgen kann, ausreicht, um eine im Wesentlichen vollständige Dekompression zu gewährleisten. Insbesondere kann die Steuereinheit hierzu die Drehbewegung über den Winkelbereich, in dem eine Dekompression möglich ist, verlangsamen oder die Drehbewegung in diesem Winkelbereich für eine vorgegebene Zeitspanne stoppen.

[0065] In analoger Weise kann die Steuereinheit die Antriebseinheit derart ansteuern, dass die Druckbeaufschlagung der Probenschleife beim Umschalten von der LOAD-Position in die INJECT-Position über den vorbestimmten Probenschleifen-Port im Wesentlichen vollständig erfolgt. Die Steuereinheit kann auch zu diesem Zweck die Geschwindigkeit der Drehbewegung so beeinflussen, dass die Zeitdauer,

über welche eine Druckbeaufschlagung der Proben-
schleife über den gewünschten Port erfolgen kann,
ausreicht, um eine im Wesentlichen vollständige
Druckbeaufschlagung zu gewährleisten. Die Steuer-
einheit kann hierfür die Drehbewegung über den Win-
kelbereich, in dem eine Druckbeaufschlagung mög-
lich ist, verlangsamen oder die Drehbewegung in die-
sem Winkelbereich für eine vorgegebene Zeitspanne
stoppen.

[0066] Damit können erfindungsgemäß mit minima-
lem Zusatzaufwand gegenüber vorbekannten Pro-
bengebern bzw. Ventilen die beschriebenen Schäden
an den Ventilen vollständig vermieden werden. Die
Lebensdauer eines erfindungsgemäßen Hoch-
druck-Injektionsventils ist daher nur durch den unver-
meidlichen Abrieb zwischen Rotor und Stator sowie
ggf. die abrasive Wirkung von Partikeln, z. B.
Schmutz oder Probenmaterial, begrenzt.

[0067] Weitere Ausführungsformen ergeben sich
aus den Unteransprüchen.

[0068] Die Erfindung wird nachfolgend anhand in
der Zeichnung näher dargestellter Ausführungsfor-
men näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

[0069] [Fig. 1](#) ein Hochdruck-Injektionsventil nach
dem Stand der Technik in schematischer perspektivi-
scher Explosionsdarstellung, welches sich in einer
ersten Schaltstellung befindet;

[0070] [Fig. 2](#) das betriebsbereit montierte Hoch-
druck-Injektionsventil in [Fig. 1](#) in schematischer per-
spektivischer Darstellung;

[0071] [Fig. 3](#) das Hochdruck-Injektionsventil in den
[Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) in schematischer perspektivischer
Explosionsdarstellung, welches sich in einer zweiten
Schaltstellung befindet;

[0072] [Fig. 4](#) eine vereinfachte, schematische Dar-
stellung eines Probengebers nach dem Stand der
Technik mit einem Hochdruck-Injektionsventil nach
den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#), das als Schnitt im Bereich der
Berührungsebene von Rotor und Stator dargestellt
ist, mit daran angeschlossenen fluidischen Kompo-
nenten, wobei sich das Ventil in der Load-Position be-
findet;

[0073] [Fig. 5](#) eine Darstellung analog [Fig. 4](#), jedoch
mit in der INJECT-Position befindlichem Hoch-
druck-Injektionsventil;

[0074] [Fig. 6](#) ein Foto, welches Schäden in der Ro-
torstirnfläche eines Hochdruck-Injektionsventils nach
den [Fig. 1](#) bis [Fig. 5](#) zeigt, welches längere Zeit bei
Drücken über 600 bar betrieben wurde;

[0075] [Fig. 7](#) ein Foto, welches Schäden in der Ro-

torstirnfläche eines Hochdruck-Injektionsventils nach
den [Fig. 1](#) bis [Fig. 5](#) zeigt, welches längere Zeit bei
Drücken über 600 bar betrieben wurde;

[0076] [Fig. 8](#) einen achsparallelen Schnitt durch die
Nut und zwei Ports eines Ventils nach dem Stand der
Technik, in dem auch die Fluidströmung dargestellt
ist, welche die Schäden im Rotor verursacht;

[0077] [Fig. 9](#) eine schematische Darstellung der
Nut und der zwei Ports der Darstellung in [Fig. 8](#) in
Draufsicht, in der ebenfalls die die Schäden im Rotor
verursachende Strömung dargestellt ist;

[0078] [Fig. 10](#) eine Darstellung ähnlich [Fig. 8](#), je-
doch mit umgekehrter Strömungsrichtung des Fluids;

[0079] [Fig. 11](#) eine erste Ausführungsform eines er-
findungsgemäßen Hochdruck-Injektionsventils in be-
triebsbereit zusammengebauten Zustand in schema-
tischer, perspektivischer Ansicht;

[0080] [Fig. 12](#) eine vereinfachte, schematische
Darstellung einer ersten Ausführungsform eines Pro-
bengebers nach der Erfindung mit einem Hoch-
druck-Injektionsventil nach [Fig. 11](#), das als Schnitt im
Bereich der Berührungsebene von Rotor und Stator
dargestellt ist, mit daran angeschlossenen fluidi-
schen Komponenten, wobei sich das Ventil in der
LOAD-Position befindet;

[0081] [Fig. 13](#) den Probengeber in [Fig. 12](#), wobei
sich das Hochdruck-Injektionsventil in einer ersten
kritischen Phase beim Umschalten von LOAD auf IN-
JECT befindet,

[0082] [Fig. 14](#) den Probengeber in [Fig. 12](#), wobei
sich das Hochdruck-Injektionsventil in einer zweiten
kritischen Phase beim Umschalten von LOAD auf IN-
JECT befindet,

[0083] [Fig. 15](#) den Probengeber in [Fig. 12](#), wobei
sich das Hochdruck-Injektionsventil in der IN-
JECT-Position befindet;

[0084] [Fig. 16](#) den Probengeber in [Fig. 12](#), wobei
sich das Hochdruck-Injektionsventil in einer dritten
kritischen Phase beim Umschalten von INJECT auf
LOAD befindet;

[0085] [Fig. 17](#) den Probengeber in [Fig. 12](#), wobei
sich das Hochdruck-Injektionsventil in einer vierten
kritischen Phase beim Umschalten von INJECT auf
LOAD befindet,

[0086] [Fig. 18](#) den Probengeber in [Fig. 12](#) beim
Umschalten von LOAD auf INJECT, wobei sich das
Hochdruck-Injektionsventil in einer Position befindet,
in der die Probenschleife dekomprimiert wird;

[0087] [Fig. 19](#) eine Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Probengebers in der LOAD-Position, welcher ebenfalls das Hochdruck-Injektionsventil der Ausführungsform nach den [Fig. 12](#) bis [Fig. 18](#) umfasst, bei dem jedoch die daran angeschlossenen fluidischen Komponenten das „Pushed Loop“ Injektionsprinzip realisieren;

[0088] [Fig. 20](#) eine Darstellung einer dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Probengebers, welcher eine zweite, in Bezug auf die Realisierung des „Pushed Loop“ Injektionsprinzips verbesserte, erfindungsgemäße Ausführungsform eines Hochdruck-Injektionsventils umfasst, wobei sich das Hochdruck-Injektionsventil in einer Position befindet, kurz bevor eine Dekompression der Probenschleife erfolgt;

[0089] [Fig. 21](#) eine vereinfachte, schematische Darstellung einer vierten Ausführungsform eines Probengebers nach der Erfindung in der LOAD-Position mit einem Hochdruck-Injektionsventil nach [Fig. 11](#), das als Schnitt im Bereich der Berührungsebene von Rotor und Stator dargestellt ist, wobei die fluidischen Komponenten zur Realisierung des „Split Loop“ Injektionsprinzips angeschlossen sind;

[0090] [Fig. 22](#) zeigt eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hochdruck-Injektionsventils in betriebsbereit zusammengebautem Zustand in schematischer, perspektivischer Explosionsdarstellung;

[0091] [Fig. 23](#) eine vereinfachte, schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform eines Probengebers nach der Erfindung mit einem Hochdruck-Injektionsventil nach [Fig. 22](#), das als Schnitt im Bereich der Berührungsebene von Rotor und Stator dargestellt ist und das sich in einer kritischen Phase beim Umschalten von INJECT auf LOAD befindet, und

[0092] [Fig. 24](#) eine vereinfachte, schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform eines Probengebers nach der Erfindung mit einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform eines Hochdruck-Injektionsventils, das als Schnitt im Bereich der Berührungsebene von Rotor und Stator dargestellt ist und das sich in einer kritischen Phase beim Umschalten von INJECT auf LOAD befindet

[0093] [Fig. 11](#) zeigt eine erste, bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hochdruck-Injektionsventils in einer ersten Schaltstellung. Der verbesserte Rotor **8** weist die Nuten **81**, **83**, **85** auf. Der Unterschied zum Ventil nach dem Stand der Technik ([Fig. 2](#)) besteht darin, dass die Nuten **83** und **85** im Vergleich zu den Nuten **23** und **25** verlängert wurden, so dass sie in der gezeichneten ersten Schaltstellung nicht schon bei den Ports **13** bzw. **15** enden, sondern

darüber hinausragen. Ebenso wurde die Nut **81** in die andere Richtung verlängert, so dass sie über den Port **16** hinausragt. Der Stator **1** ist gegenüber dem Stand der Technik unverändert. Diese erste Ausführungsform ist in [Fig. 12](#) in Draufsicht und mit angeschlossenen externen Komponenten gezeigt. Sowohl die Darstellung als auch die Beschaltung und Funktionsweise entsprechen exakt [Fig. 4](#), d. h. das Ventil befindet sich in der LOAD-Position. Die Verlängerungen der Nuten **83**, **85** stellen tote Enden dar, die in der LOAD-Position keinen nennenswerten Einfluss auf die Funktionsweise haben.

[0094] Nach dem Füllen der Probenschleife **50** wird das Ventil in die INJECT-Position gefahren. Die Schaltrichtung ist dabei im Unterschied zum Stand der Technik nicht beliebig, sondern der Rotor muss erfindungsgemäß beim Umschalten von Load nach Inject in Pfeilrichtung gedreht werden, so dass sich z. B. Nut **81** auf Port **15** zubewegt.

[0095] [Fig. 13](#) zeigt das erfindungsgemäße Ventil in einer ersten kritischen Phase kurz vor Erreichen der INJECT-Position. Port **11** und **12** sind beide drucklos, so dass hier keine Probleme zu erwarten sind.

[0096] Die Nut **81** erreicht gerade den Port **15**, an dem der durch die Pumpe aufgebaute Druck anliegt. Dabei strömt das Lösungsmittel von Port **15** in Richtung der Nut **81**. Damit sind die Strömungsverhältnisse analog zu [Fig. 10](#), es tritt also kein Schaden an Rotor **8** oder Stator **1** auf. Der Pumpendruck kann nun über die Nut **81** die Probenschleife **50** unter Druck setzen. Währenddessen dreht sich der Rotor weiter in Pfeilrichtung.

[0097] [Fig. 14](#) zeigt das erfindungsgemäße Ventil in einer zweiten kritischen Phase unmittelbar vor Erreichen der INJECT-Position. Der Rotor hat sich im Vergleich zu [Fig. 13](#) um so viel weiter gedreht, dass nun die Nut **85** gerade den Port **13** erreicht. Zu diesem Zeitpunkt überdeckt die Nut **81** den Port **15** bereits völlig, so dass die Probenschleife **50** unter dem vollen Druck der Pumpe **40** steht. Da die Pumpe **40** während des Umschaltvorgangs Druck aufbaut, während die Säule **41** Druck abbaut, ist auch hier die Strömungsrichtung analog zu [Fig. 10](#), d. h. von der Probenschleife **50** über Port **13** in die Nut **85**. Somit findet auch hier keine Materialschädigung statt.

[0098] [Fig. 15](#) zeigt das erfindungsgemäße Ventil nach Erreichen der INJECT-Position. Die Strömungen verlaufen ebenso wie bei einem Ventil nach dem Stand der Technik, das in der Probenschleife **50** befindliche Probenmaterial wird mit dem Flüssigkeitsstrom der Pumpe **40** zur Säule **41** transportiert.

[0099] Nun müssen noch die Vorgänge beim Zurückschalten des erfindungsgemäßen Ventils in die LOAD-Position betrachtet werden. Dies erfolgt in um-

gekehrter Richtung, was in [Fig. 15](#) durch einen Pfeil angedeutet ist. Dabei sind wiederum nur diejenigen Schaltvorgänge kritisch, bei denen große Druckunterschiede auftreten.

[0100] [Fig. 16](#) zeigt die dritte kritische Phase, die während des Zurückschaltens von Inject nach Load auftritt. Die Nut **83**, die mit der drucklosen Probennadel **44** verbunden ist, erreicht den Port **13**, welcher unter dem Druck der Probenschleife **50** steht. Auch in diesem Fall erfolgt der Druckabbau analog zu [Fig. 10](#) vom Port **13** in die Nut **83**, so dass keine Materialschädigung eintritt. Ebenso kann sich der Druck der Pumpe **40** von Port **15** in Richtung Nut **85** abbauen, ohne dass eine Schädigung eintritt.

[0101] [Fig. 17](#) zeigt die Stellung des Rotors kurz vor Erreichen der LOAD-Position. Zu diesem Zeitpunkt wird Port **13** bereits voll von der Nut **83** überdeckt, so dass sich der Druck in der Probenschleife **50** schnell abbauen kann. Daher ist zwischen Port **11** und Nut **81** kein Druckunterschied mehr wirksam, so dass sich keine schädliche Strömung ausbilden kann. Dies hat gleichzeitig den Vorteil, dass an der Spritze **42** im Vergleich zum Stand der Technik kein Druckstoß auftritt.

[0102] Das Erreichen der LOAD-Position entspricht wieder [Fig. 12](#). Diese Betrachtung zeigt, dass mit dem erfindungsgemäßen Ventil und bei Einhaltung der erfindungsgemäß festgelegten Schaltrichtung sämtliche Schaltvorgänge, bei denen hohe Druckdifferenzen wirksam sind, so ablaufen, dass sich der Druck vom jeweiligen Port in Richtung der Nut abbaut. Hierdurch werden die in [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) gezeigten Schäden an Rotor und Stator vermieden. Somit löst die Erfindung in der bisher beschriebenen ersten Ausführungsform die gegebene Aufgabenstellung im Prinzip bereits vollständig.

[0103] Die Arbeitsweise der Erfindung basiert unter anderem auf einer zweckmäßigen zeitlichen Abfolge der einzelnen Teilschritte der Schaltvorgänge. Durch die beschriebene Verlängerung der Nuten wird der zeitliche Ablauf der Umschaltvorgänge so festgelegt, dass die schädigenden Situationen vermieden werden. Voraussetzung für die Funktionsweise ist somit, dass in der zwischen den einzelnen Teilschritten liegenden Zeit auch tatsächlich ein ausreichender Druckausgleich stattfinden kann. Daher müssen auch dynamische Aspekte berücksichtigt werden. Beim Umschalten von der Inject- in die LOAD-Position beginnt der Druckabbau in der Probenschleife **50**, sobald die in [Fig. 16](#) gezeigten Schaltstellung des Ventils erreicht ist. Wie schnell sich der Druck abbaut, hängt von den Volumina und Flusswiderständen von Probenschleife **50**, Nut **83**, der Ports **12**, **13**, der Probennadel **44** und ihrer Verbindungskapillare ab. Außerdem gehen die Massenträgheit und Kompressibilität der in diesen Bauteilen befindlichen Flüssigkeit

ein. Zudem können wegen der hohen Strömungsgeschwindigkeiten turbulente Strömungen auftreten. Aus diesen Gründen ist der Druckabbau ein komplexer dynamischer Vorgang, der unter Umständen länger dauert als erwartet, insbesondere bei Verwendung einer Probenschleife **50** mit großem Innenvolumen.

[0104] Die für den Druckabbau zur Verfügung stehende Zeit sollte deshalb so lang wie möglich sein. Hierzu könnte die Nut **83** so lang wie möglich gemacht werden, so dass sie in [Fig. 16](#) den Port **13** früher erreicht.

[0105] Mit zunehmender Länge der Nuten **81**, **83**, **85** verringert sich jedoch der Abstand bzw. die Breite des verbleibenden Steges zwischen den Nutenden, der für die Dichtwirkung des Ventils benötigt wird. Daher dürfen die Nuten auch nicht zu stark verlängert werden. Ein zweckmäßiger Kompromiss ist eine Verlängerung der Nuten um etwa 5 bis 35% im Vergleich zur ursprünglichen Länge der Nuten **21**, **23**, **25**. Da für die Funktionsweise der Erfindung nur die Reihenfolge der Schaltvorgänge entscheidend ist, spielt es nur eine untergeordnete Rolle, um welchen genauen Prozentsatz die Nuten verlängert werden.

[0106] Neben der Länge der Nuten **81**, **83**, **85** hängt die Zeit, die für den Druckausgleich zur Verfügung steht, auch von der Drehgeschwindigkeit des Rotors **8** während des Umschaltvorgangs ab. Da während des Umschaltvorgangs die Flusswege zeitweise unterbrochen werden, ist der Antrieb derartiger Ventile nach dem Stand der Technik so ausgelegt, dass der Umschaltvorgang möglichst schnell abläuft. Bei derzeit kommerziell erhältlichen Ventilen liegt die Gesamtdauer eines Umschaltvorgangs im Zehntelsekundenbereich, z. B. 0,2 s. Damit stehen bei einer Verlängerung der Nuten um beispielsweise 20% einige zehn Millisekunden für den Druckausgleich zur Verfügung. In dieser Zeit können sich Druckdifferenzen in der Regel so weit abbauen, dass keine Beschädigungen am Ventil mehr auftreten können.

[0107] Wie bereits erwähnt, kann es beim Umschalten von Inject nach Load zu einem Druckstoß auf die Spritze **42** kommen, wenn sich der Druck in der Probenschleife **50** nicht schnell genug abbaut. Um dies zu vermeiden, soll ein möglichst vollständiger Druckausgleich erreicht werden. Zudem kann ein plötzlicher Druckabbau durch dynamische Prozesse die Bildung von Gas- oder Vakuumbblasen zur Folge haben, was zu einer starken Verlangsamung des Druckausgleichs führt. Aus diesen Gründen ist es wünschenswert, für den Druckabbau möglichst viel Zeit zur Verfügung stellen zu können.

[0108] Dies kann in einer zweckmäßigen Weiterentwicklung der Erfindung dadurch sichergestellt werden, dass während des Zurückschaltens in die

LOAD-Position der Antrieb des Ventils entweder stark abgebremst oder zeitweise ganz angehalten wird, sobald die Probenschleife **50** mit der Probennadel **44** sowie die Pumpe **40** mit der Säule **41** verbunden sind.

[0109] [Fig. 18](#) zeigt eine mögliche Position, in der der Ventiltrieb angehalten oder abgebremst werden kann. Diese Position wird unmittelbar im Anschluss an [Fig. 16](#) erreicht. Die Pumpe **40** ist über die Nut **85** bereits mit der Säule **41** verbunden, und die Probenschleife **50** kann ihren Druck über die Nut **83** in Richtung Probennadel **44** abbauen. Da der nächste Load-Vorgang erst sehr viel später, nämlich nach Abschluss des chromatographischen Trennprozesses ausgeführt werden muss, steht nun genügend Zeit für den Druckabbau in der Probenschleife **50** zur Verfügung. Hierzu kann der Ventiltrieb nach Erreichen der in [Fig. 18](#) dargestellten Position, jedoch vor Erreichen der in [Fig. 17](#) dargestellten Position für eine vorgegebene Zeit angehalten werden. Das Weiterfahren nach Load [Fig. 12](#) muss erst dann erfolgen, wenn die Probenschleife **50** wieder mit neuem Probenmaterial befüllt werden soll.

[0110] Statt den Ventiltrieb ganz anzuhalten, kann ab Erreichen der in [Fig. 18](#) dargestellten Position auch die Geschwindigkeit des Antriebs deutlich reduziert werden, so dass der Rotor **8** nur langsam in die LOAD-Position weiterläuft.

[0111] In beiden Fällen wird erreicht, dass der Druck in der Probenschleife abgebaut ist, bevor die LOAD-Position erreicht wird. Druckstöße auf die Spritze **42** können durch dieses erfindungsgemäße Abbremsen vollständig vermieden werden.

[0112] In den bisherigen Erläuterungen erfolgt die Injektion dadurch, dass die in den Hochdruckkreis einzubringende Probe zunächst durch die Spritze **42** in eine feste Probenschleife **50** gesaugt wird. Dieses Injektionsprinzip bezeichnet man als „Pulled Loop“ oder „Fixed Loop“. Weitere verbreitete Injektionsprinzipien sind das „Pushed Loop“ und das „Split Loop“ Prinzip. Auf diese Prinzipien kann die Erfindung sinn gemäß in gleicher Weise wie folgt angewendet werden:

[0113] [Fig. 19](#) zeigt die Anwendung der Erfindung auf das bekannte „Pushed Loop“-Prinzip. Dargestellt ist die LOAD-Position. Die Spritze **42** ist hier über eine Pufferkapillare **46** direkt mit der Probennadel **44** verbunden. Die Probenflüssigkeit **43** kann nun in die Pufferkapillare **46** gesaugt werden. Anschließend kann die Probennadel **44** in einen Nadelsitz **45** bewegt werden, welcher mit Port **12** verbunden ist. Dies ist in [Fig. 19](#) durch einen Pfeil angedeutet. Nun kann mit der Spritze **42** Probenflüssigkeit in die Probenschleife **50** gedrückt werden. An Port **11** ist eine Waste-Kapillare **47** angeschlossen, über die verdrängte

Flüssigkeit entsorgt wird.

[0114] Das „Pushed Loop“-Prinzip unterscheidet sich vom bisher beschriebenen „Pulled Loop“-Prinzip durch die Art der niederdruckseitigen Befüllung der Probenschleife **50**. Daher gelten bzgl. der Erfindung sämtliche Betrachtungen in gleicher Weise wie oben beschrieben. Allerdings erfolgt die Dekompression der Probenschleife **50** nun über den Nadelsitz **45**, welcher an Port **12** angeschlossen ist. Dies ist unerwünscht, weil dabei Probenflüssigkeit am Nadelsitz austreten kann, welche beim nächsten Befüllen der Probenschleife zu einer Verunreinigung der nächsten Probe führt.

[0115] [Fig. 20](#) zeigt eine verbesserte Ausführungsform eines Hochdruck-Injektionsventils für das „Pushed Loop“-Prinzip. Die Anordnung entspricht weitgehend [Fig. 19](#), es ist jedoch im modifizierten Rotor **6** außer den Nuten **61**, **63**, **65** (die den Nuten **81**, **83**, **85** entsprechen) eine zusätzliche Nut **66** vorgesehen, welche eine Dekompression der Probenschleife **50** ermöglicht, ohne dass am Nadelsitz **45** Flüssigkeit auftritt. In [Fig. 20](#) ist der kritische Zeitpunkt dargestellt, zu dem beim Umschalten von der Inject- in die LOAD-Position die Dekompression der Probenschleife beginnt. Die Nut **66** ist bereits über Port **11** mit der Waste-Kapillare **47** verbunden und erreicht gerade den Port **13**. Der Druck in der Probenschleife kann sich dann über die Nut **66** abbauen, wobei die Strömungsrichtung wiederum der in [Fig. 10](#) dargestellten, nicht schädlichen Situation entspricht. Somit wird durch die erfindungsgemäße Nut **66** erreicht, dass sich der Druck in der Probenschleife **50** abbauen kann, ohne dass es zu Beschädigungen an Rotor oder Stator und ohne dass bei der Dekompression der Probenschleife am Nadelsitz **45** Flüssigkeit austritt.

[0116] [Fig. 21](#) zeigt die Anwendung der Erfindung auf das bekannte „Split Loop“-Prinzip. Hier besteht die Probenschleife aus zwei Teilen **501**, **502**. Der obere Teil **501** ist an die Probennadel **44** angeschlossen, der untere Teil **502** an einen Nadelsitz **45**. Zur Probenentnahme befindet sich die Probennadel im Probenbehälter **43**. Über die an Port **11** angeschlossene Spritze **42** kann nun Probenflüssigkeit in den oberen Teil **501** der Probenschleife gesaugt werden. Anschließend wird die Probennadel in den Nadelsitz **45** bewegt, so dass die Probenschleife **501**, **502** damit hochdruckdicht geschlossen ist. Auch beim „Split Loop“-Prinzip beschränken sich die Unterschiede auf die Art der niederdruckseitigen Befüllung der Probenschleife. Nach dem Schließen der Probenschleife ergeben sich wiederum exakt die gleichen Druck- und Strömungsverhältnisse wie oben beschrieben. Daher besteht bzgl. der Wirkungsweise der Erfindung auch hier kein Unterschied zu den obigen Ausführungen.

[0117] Wie bereits erläutert, ist für die Realisierung

der Erfindung eine Festlegung der Schaltrichtung des Ventils in Bezug auf die Anschlussreihenfolge der Komponenten erforderlich. Dabei ist entscheidend, dass sich bei der Umschaltung von Load nach Inject der Rotor vom Pumpenanschluss Port **15** in Richtung auf den Säulenanschluss Port **14** bewegt, beim Zurückschalten in umgekehrte Richtung.

[0118] Die tatsächlich erforderliche Drehrichtung hängt demnach von der Anschlussreihenfolge von Pumpe und Säule ab. Zur Vereinfachung der Beschreibung wurde eine willkürlich festgelegte Anschlussreihenfolge und die zugehörige Drehrichtung verwendet. Wird bei der praktischen Umsetzung der Erfindung die Anschlussreihenfolge umgekehrt gewählt, müssen auch die Drehrichtungen entsprechend angepasst werden.

[0119] Die Erfindung lässt sich auch dann in gleicher Weise verwenden, wenn für die Injektion ein Ventil mit mehr als **6** Ports verwendet wird. So ist beispielsweise in der WO2007062642 ein Probengeber beschrieben, der gleichzeitig eine Probenfraktionierung ausführen kann und mit einem 8-Port Injektionsventil arbeitet. Die beiden zusätzlichen Ports werden hier dafür verwendet, am Ausgang einer Chromatographiesäule austretende und bereits getrennte Probenbestandteile auf verschiedene Probenbehälter zu verteilen. Diese beiden Ports befinden sich zwischen den Anschlüssen für die Spritze und die Probennadel und werden ausschließlich mit Niederdruck betrieben, so dass hier keine nennenswerten Druckdifferenzen auftreten können. Daher sind hier keine Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden erforderlich. Bzgl. der übrigen Ports und der zugehörigen Nuten kann die Erfindung in gleicher Weise wie beschrieben angewendet werden.

[0120] Bei dem erfindungsgemäßen Injektionsventil sind im Vergleich zum Stand der Technik alle drei Nuten **81**, **83**, **85** verlängert. Dabei dient die Verlängerung der Nut **81** nur dazu, eine Schädigung der Nut **85** durch die in der Säule **41** gespeicherte hydraulische Energie zu vermeiden. Da die Säule und ihre Zuleitung aus chromatographischen Gründen sehr totvolumenarm ausgeführt sind, ist diese Energie in der Regel so gering, dass auch ohne Verlängerung der Nut **81** keine nennenswerten Materialschäden entstehen.

[0121] Daher kann in einer zweckmäßigen Ausgestaltung der ersten Ausführungsform auf eine Verlängerung der Nut **81** verzichtet werden, d. h. gegenüber dem Stand der Technik werden lediglich die Nuten **83** und **85** verlängert, während die Nut **81** die gleiche Länge haben kann wie Nut **21**. Dies hat den Vorteil, dass der Abstand zwischen den Enden von Nut **85** und Nut **81** nicht noch weiter verringert wird, als dies durch die im Vergleich zum Stand der Technik verlängerte Nut **85** bereits der Fall ist. Dadurch kann ver-

mieden werden, dass ein zu geringer Abstand zwischen den Nutenden zu Dichtigkeitsproblemen führt.

[0122] Entscheidend für die Funktionsweise der Erfindung ist, dass die Schaltvorgänge in der richtigen zeitlichen Reihenfolge erfolgen. Dies wird unter anderem durch die beschriebene Verlängerung der Nuten im Rotor erreicht. Da die Bearbeitung des Rotors relativ einfach (sogar nachträglich) erfolgen kann, ist dies die bevorzugte Ausführungsform der Erfindung.

[0123] Die erforderliche Festlegung der Schaltreihenfolge kann in einer weiteren Ausführungsform auch durch Modifikation des Stators bei unverändertem Rotor erreicht werden.

[0124] [Fig. 22](#) zeigt in gleicher Darstellung wie [Fig. 1](#) ein Injektionsventil nach der zweiten Ausführungsform der Erfindung mit in den modifizierten Stator **7** eingearbeiteten Nuten **131**, **151**. Der Rotor **2** ist gegenüber [Fig. 1](#) unverändert mit den Nuten **21**, **23**, **25**. Die Nut **131** geht von Port **13** aus in Richtung Port **12** und bewirkt, dass die Nut **23** etwas vorzeitig mit dem Port **13** verbunden wird, wenn das Ventil von der Inject- in die LOAD-Position geschaltet wird. Damit ist die Wirkung exakt die gleiche wie in [Fig. 16](#) dargestellt. Die Nut **151** geht von Port **15** in beide Richtungen. Dadurch wird beim Schalten von Inject nach Load die Nut **25** etwas vorzeitig mit Port **15** verbunden, umgekehrt wird beim Schalten von Load nach Inject die Nut **21** vorzeitig mit Port **15** verbunden.

[0125] [Fig. 23](#) zeigt die zweite Ausführungsform der Erfindung in der gleichen Darstellung und der gleichen Schaltposition wie [Fig. 16](#). Die Nuten **131**, **151** im Stator sind zur besseren Unterscheidung schraffiert dargestellt. Man erkennt, dass ebenso wie in [Fig. 16](#) die Nut **23** etwas vorzeitig mit der Statornut **131** und somit mit Port **13** und die Nut **25** mit der Statornut **151** und somit mit Port **15** verbunden wird. Beim Zurückschalten wird die Nut **21** vorzeitig mit dem anderen Ende der Statornut **151** und somit mit Port **15** verbunden. Da auch hier die Strömung in die Nuten des Rotors fließt, findet keine Schädigung statt.

[0126] Somit ist die Wirkung der Nuten **131**, **151** im Stator **7** identisch mit der bereits beschriebenen Wirkung der verlängerten Nuten **81**, **83**, **85** im Rotor **8**. Auch diese Ausführungsform der Erfindung verhindert die beim Stand der Technik zu beobachtenden Beschädigungen vollständig.

[0127] Wie in [Fig. 6](#) zu sehen, entsteht bei Ventilen nach dem Stand der Technik der gravierendste Schaden **201** am Ende der Nut **23**. Daher kann eine wesentliche Verbesserung der Lebensdauer des Ventils bereits erreicht werden, wenn lediglich an dieser Stelle die Schadensentstehung vermieden wird. Dies kann entsprechend der ersten Ausführungsform der

Erfindung dadurch erreicht werden, dass die Beschaltung des Ventils wie in [Fig. 12](#) vorgenommen wird und dass nur eine einzige verlängerte Nut **83** verwendet wird, während die Nuten **81** und **85** die gleiche Länge aufweisen wie die Nuten **21** und **23** bei Ventilen nach dem Stand der Technik.

[0128] Entsprechend der zuvor beschriebenen Ausführungsform kann der Schaden **201** bereits dadurch vermieden werden, dass in [Fig. 23](#) die Nut **151** im Stator weggelassen wird.

[0129] Hieraus ergibt sich eine weitere Ausführungsform, die in [Fig. 24](#) dargestellt ist. Hier enthält der Stator **9** nur noch eine einzige Nut **131**, die von Port **13** ausgehend in Richtung Port **12** verläuft. In [Fig. 24](#) ist wieder die kritische Situation beim Umschalten von Inject nach Load dargestellt, wenn die unter Druck stehende Probenschleife **50** gerade mit der Probennadel **44** verbunden wird. Der Druckabbau erfolgt von der Statornut **131** in Richtung auf die Rotornut **23**, so dass keine Schädigung eintritt.

[0130] Diese Ausführungsform hat den besonderen Vorteil, dass sie durch geschickte Beschaltung eines fertig erhältlichen Ventils mit „Make-Before-Break“-Funktionalität realisiert werden kann, da nur eine einzige Nut im Stator benötigt wird. Der mit einer Statornut versehene Port wird jedoch nicht, wie eigentlich vorgesehen, an die Pumpe oder die Säule angeschlossen, sondern mit der Probennadel verbunden, so dass sich der in [Fig. 24](#) dargestellte Aufbau ergibt. Durch diese Beschaltung wird an Stelle der eigentlich vorgesehenen „Make-Before-Break“-Funktionalität die erfindungsgemäße Verbesserung der Lebensdauer erreicht.

[0131] Selbstverständlich kann auch diese Ausführungsform in gleicher Weise wie die zuvor beschriebenen Ausführungsformen auch auf andere Injektionsprinzipien angewendet werden.

[0132] Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die einzelnen Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung sowohl einzeln als auch kombiniert eingesetzt werden können.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 3530721 [0002]
- US 4242909 [0003]
- US 4939943 [0016]
- WO 2006/083776 A2 [0020]
- US 6453946 [0024]
- WO 2007062642 [0119]

Patentansprüche

1. Probengeber für die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie

(a) mit einem Hochdruck-Injektionsventil, welches zumindest zwei Load-Ports (**11, 12**) für das Zuführen oder Abführen von unter niedrigem Druck stehendem Fluid, zwei Probenschleifen-Ports (**13, 16**), sowie zwei Hochdruck-Ports (**14, 15**) für das Zuführen und Abführen von unter hohem Druck stehendem Fluid aufweist,

(i) wobei die Ports (**11 bis 16**) durch Kanäle in einem Stator (**1**) des Hochdruck-Injektionsventils gebildet sind, die an einem Ende über jeweils einen druckdichten Anschluss mit einer Fluidleitung verbunden oder verbindbar sind und die am anderen Ende an einer Stirnfläche (**10**) des Stators (**1**) einen vorbestimmten Port-Öffnungsquerschnitt aufweisen,

(ii) wobei ein Rotor (**2**) des Hochdruck-Injektionsventils eine mit der Stirnfläche (**10**) des Stators (**1**) zusammenwirkende Stirnfläche (**20**) aufweist, in welcher zumindest drei verlaufende Nuten (**81, 83, 85; 61, 63, 65; 21, 23, 25**) ausgebildet sind, die abhängig von der Drehposition des Rotors (**2**) gegenüber dem Stator (**1**) vorbestimmte Port-Öffnungsquerschnitte druckdicht verbinden,

(iii) wobei die zumindest drei Nuten (**81, 83, 85; 61, 63, 65; 21, 23, 25**) zumindest in solchen Winkelbereichen in Umfangsrichtung und konzentrisch zur Drehachse verlaufen, in welchen zwischen den Nuten (**81, 83, 85; 61, 63, 65; 21, 23, 25**) und entsprechenden Ports eine Fluidströmung ermöglicht ist,

(b) mit einer Probenschleife (**50, 501**) die an einem Ende mit einem der Probenschleifen-Ports (**13, 16**) und am anderen Ende mit dem anderen der Probenschleifen-Ports (**13, 16**) verbunden ist, und

(c) mit einer Hochdruckpumpe (**40**), welche mit einem der Hochdruckports (**14, 15**) verbunden ist,

(d) wobei die zumindest drei Nuten (**81, 83, 85; 61, 63, 65; 21, 23, 25**) des Rotors (**2**) und die Port-Öffnungsquerschnitte so ausgebildet und angeordnet sind,

(i) dass in einer LOAD-Position des Rotors (**2**) die beiden Hochdruckports (**14, 15**) miteinander sowie einer der Probenschleifen-Ports (**13, 16**) mit einem der Load-Ports (**11, 12**) und der jeweils andere der Probenschleifen-Ports (**13, 16**) mit dem jeweils anderen Load-Port (**11, 12**) verbunden sind,

(ii) dass in einer INJECT-Position des Rotors (**2**) die beiden Load-Ports (**11, 12**) miteinander sowie einer der Hochdruck-Ports (**14, 15**) mit einem der Probenschleifen-Ports (**13, 16**) und andere der Hochdruck-Ports (**14, 15**) mit dem anderen der Probenschleifen-Ports (**13, 16**) verbunden sind, und

(iii) dass sowohl in der LOAD-Position als auch in der INJECT-Position eine erste (**83, 63, 23**) der Nuten mit einem Load-Port verbunden ist (Load-Port-Nut), eine zweite (**81, 61, 21**) der Nuten mit einem Probenschleifen-Port (Probenschleifen-Port-Nut) und eine Dritte (**85, 65, 25**) der Nuten mit einem Hoch-

druck-Port (Hochdruck-Port-Nut) verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet,**

(e) dass die zumindest drei Nuten (**81, 83, 85; 61, 63, 65, 66; 21, 23, 25**) und/oder die Port-Öffnungsquerschnitte so vorgesehen und ausgebildet sind und die Drehrichtung so gewählt ist, dass bei einem Drehen des Rotors (**2**) aus der INJECT-Position in die LOAD-Position die unter Hochdruck stehende Probenschleife (**50, 501**) in der Weise dekomprimiert wird,

(i) dass die Nuten (**81, 83, 85; 61, 63, 65, 66; 21, 23, 25**) und/oder die Port-Öffnungsquerschnitte so ausgebildet und angeordnet sind, dass zuerst die Verbindung zwischen demjenigen Probenschleifen-Port (**13**) und demjenigen Load-Port (**12**) hergestellt und aufrechterhalten wird, die durch die Bewegung der Load-Port-Nut (**83, 63, 23**) in Richtung auf den betreffenden Probenschleifen-Port (**13**) entsteht, bevor die Verbindung zwischen dem anderen Probenschleifen-Port (**16**) und dem anderen Load-Port (**11**) hergestellt und aufrechterhalten wird, die durch die Bewegung der mit dem betreffenden Probenschleifen-Port-Nut (**81, 61, 21**) in Richtung auf den betreffenden Load-Port (**11**) entsteht (Funktion des Voraus-eilens zur Dekomprimierung der Probenschleife), oder

(ii) dass eine weitere Entspannungsnut (**66**) im Rotor (**2**) vorgesehen ist, die so ausgebildet ist, dass vor dem Erreichen der LOAD-Position in einer bestimmten Drehposition oder über einen bestimmten Winkelbereich hinweg eine Verbindung zwischen demjenigen Probenschleifen-Port (**13**) und demjenigen Load-Port (**11**) hergestellt und aufrechterhalten wird, welcher nicht dauernd mit einer Nut verbunden sind, wobei das Ende der Entspannungsnut (**66**), welches mit dem Probenschleifen-Port (**13**) verbunden wird, und/oder der Port-Öffnungsquerschnitt, über einen ausreichend langen Entspannungsbereich konzentrisch und in Umfangsrichtung verlaufen, der so bemessen ist, dass die Strömungsgeschwindigkeiten der Fluidströmung, die beim Erreichen der Überdeckung von Entspannungsnut (**66**) und Port-Öffnungsquerschnitt entsteht, im Entspannungsbereich so weit reduziert werden, dass eine Beschädigung des Stators (**1**) und/oder des Rotors (**2**) vermieden wird.

2. Probengeber nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Load-Port-Nut (**83, 63, 23**), die Probenschleifen-Port-Nut (**81, 61, 21**) und die Hochdruck-Port-Nut (**85, 65, 25**) jeweils in Umfangsrichtung und konzentrisch verlaufend ausgebildet sind und bei einem Übergang von der LOAD- in die INJECT-Position und umgekehrt dauernd mit dem betreffenden Port verbunden sind.

3. Probengeber nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Port-Öffnungsquerschnitte in äquidistanten Winkelabständen entlang der durch die Nuten (**81, 83, 85; 61, 63, 65; 21, 23, 25**) definierten Kreisbahn vorgesehen sind.

4. Probengeber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Load-Port-Nut (**83**) in Bezug auf das Umschalten von der INJECT-Position auf die LOAD-Position gegenüber der Probenschleifen-Port-Nut (**81, 61, 21**) vorseitend ausgebildet ist.

5. Probengeber nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Port-Öffnungsquerschnitt des Load-Ports (**13**), welcher nicht dauernd mit einer Nut verbunden ist, nutförmig in Richtung auf die Load-Port-Nut (**83, 63, 23**) erstreckt, wobei die Länge der nutförmigen Erstreckung (**131**) des Port-Öffnungsquerschnitts so gewählt ist, dass beim Umschalten von der INJECT-Position auf die LOAD-Position die Funktion des Vorseitens zur Dekomprimierung der Probenschleife (**50, 501/502**) realisiert ist.

6. Probengeber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochdruck-Port-Nut (**85, 65, 25**) so lang ausgebildet ist, dass die beiden Hochdruck-Ports (**14, 15**) in derjenigen Drehposition, in welcher die Dekompression der Probenschleife stattfindet, oder über den gesamten Winkelbereich der Drehbewegung, in welchem die Dekompression der Probenschleife (**50, 501/502**) stattfindet, verbunden sind.

7. Probengeber nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Port-Öffnungsquerschnitt des Hochdruck-Ports (**15**), welcher während des Umschaltvorgangs nicht dauernd mit einer Nut verbunden ist, nutförmig in Richtung auf die Hochdruck-Port-Nut (**25**) erstreckt, wobei die Länge der nutförmigen Erstreckung des Port-Öffnungsquerschnitts so gewählt ist, dass die beiden Hochdruck-Ports (**14, 15**) beim Umschalten von der INJECT-Position auf die LOAD-Position in derjenigen Drehposition, in welcher die Dekompression der Probenschleife (**50, 501/502**) stattfindet, oder über den gesamten Winkelbereich der Drehbewegung, in welchem die Dekompression der Probenschleife (**50, 501**) stattfindet, verbunden sind.

8. Probengeber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehrichtung so gewählt ist und die Nuten (**81, 83, 85; 61, 63, 65, 66; 21, 23, 25**) und/oder die Port-Öffnungsquerschnitte so ausgebildet und angeordnet sind, dass bei einem Drehen des Rotors (**2**) aus der LOAD-Position in die INJECT-Position die im Wesentlichen drucklose Probenschleife (**50, 501/502**) in der Weise mit Hochdruck beaufschlagt wird, (a) dass zuerst die Verbindung zwischen demjenigen Probenschleifen-Port (**16**), welcher während der Umschaltbewegung dauernd mit einer Nut (**81, 61, 21**) verbunden ist, und dem betreffenden Hochdruck-Port (**15**) hergestellt und aufrechterhalten wird, wobei hierzu die Probenschleifen-Port-Nut (**81, 61, 21**) in

Richtung auf den betreffenden Hochdruck-Port (**15**) bewegt wird, und

(b) dass erst anschließend die Verbindung zwischen dem andern Hochdruck-Port (**14**) und dem anderen Probenschleifen-Port (**13**) hergestellt und aufrechterhalten wird, wobei hierzu die Hochdruckport-Nut (**85, 65, 25**) in Richtung auf den betreffenden Probenschleifen-Port bewegt wird (Funktion des Vorseitens zur Druckbeaufschlagung der Probenschleife).

9. Probengeber nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Probenschleifen-Port-Nut (**81**), die beim Umschalten von der LOAD-Position auf die INJECT-Position auf den benachbarten Hochdruck-Port (**15**) zu bewegt wird, gegenüber der Hochdruck-Port-Nut (**85**) vorseitend ausgebildet ist.

10. Probengeber nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Port-Öffnungsquerschnitt des Hochdruck-Ports (**15**), welcher während des Umschaltvorgangs nicht dauernd mit einer Nut verbunden ist, nutförmig in Richtung auf die Load-Port-Nut (**21**) erstreckt, wobei die Länge der nutförmigen Erstreckung (**151**) des Port-Öffnungsquerschnitts so gewählt ist, dass beim Umschalten von der LOAD-Position auf die INJECT-Position die Funktion des Vorseitens zur Druckbeaufschlagung der Probenschleife (**50, 501/502**) realisiert ist.

11. Probengeber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine ansteuerbare Antriebseinheit für die Drehbewegung des Rotor (**2**) und eine Steuereinheit vorgesehen ist.

12. Probengeber nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit die Antriebseinheit derart ansteuert, dass die Dekompression der Probenschleife (**50, 501/502**) beim Umschalten von der INJECT-Position in die LOAD-Position über den vorbestimmten Probenschleifen-Port (**13**) im Wesentlichen vollständig erfolgt.

13. Probengeber nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit die Geschwindigkeit der Drehbewegung so beeinflusst, dass die Zeitdauer, über welche eine Dekompression der Probenschleife (**50, 501/502**) über den gewünschten Probenschleifen-Port (**13**) erfolgen kann, ausreicht, um eine im Wesentlichen vollständige Dekompression zu gewährleisten.

14. Probengeber nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit die Drehbewegung über den Winkelbereich, in dem eine Dekompression möglich ist, verlangsamt oder die Drehbewegung in diesem Winkelbereich für eine vorgegebene Zeitspanne stoppt.

15. Probengeber nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerein-

heit die Antriebseinheit derart ansteuert, dass die Druckbeaufschlagung der Probenschleife (**50, 501**) beim Umschalten von LOAD-Position der in die INJECT-Position über den vorbestimmten Probenschleifen-Port (**13**) im Wesentlichen vollständig erfolgt.

16. Probengeber nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit die Geschwindigkeit der Drehbewegung so beeinflusst, dass die Zeitdauer, über welche eine Druckbeaufschlagung der Probenschleife (**50, 501/502**) über den gewünschten Probenschleifen-Port (**13**) erfolgen kann, ausreicht, um eine im Wesentlichen vollständige Druckbeaufschlagung zu gewährleisten.

17. Probengeber nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit die Drehbewegung über den Winkelbereich, in dem eine Druckbeaufschlagung möglich ist, verlangsamt oder die Drehbewegung in diesem Winkelbereich für eine vorgegebene Zeitspanne stoppt.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

Fig. 1 (Stand der Technik)

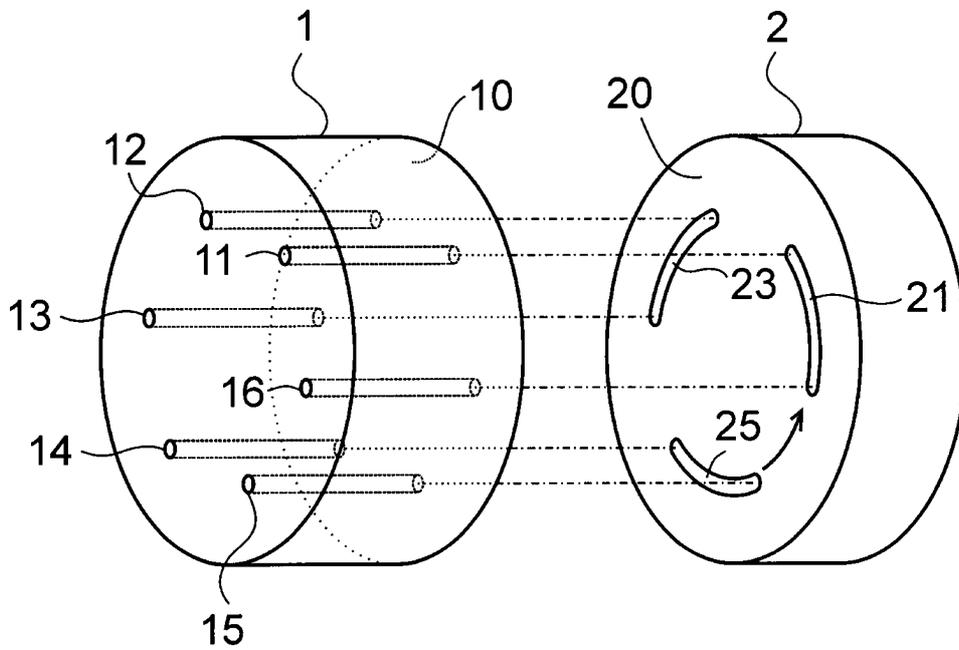


Fig. 2 (Stand der Technik)

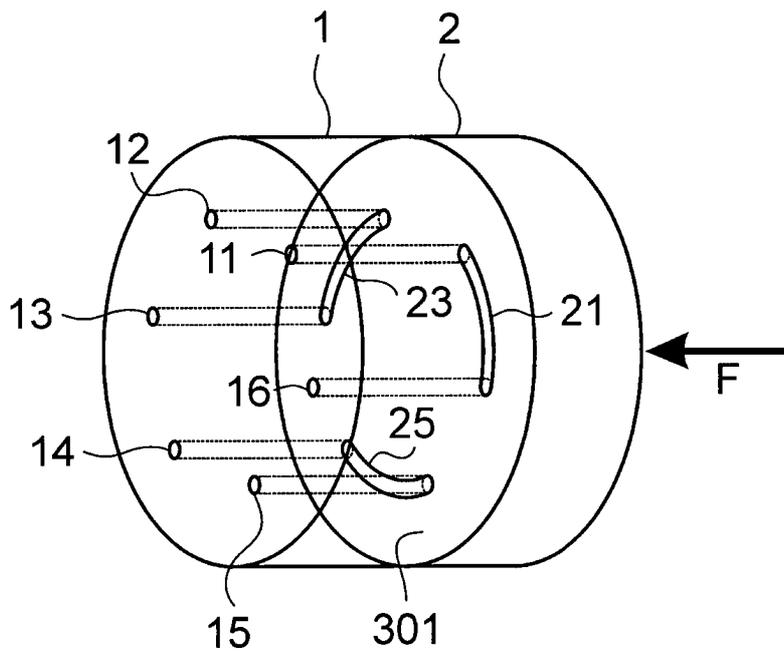


Fig. 3 (Stand der Technik)

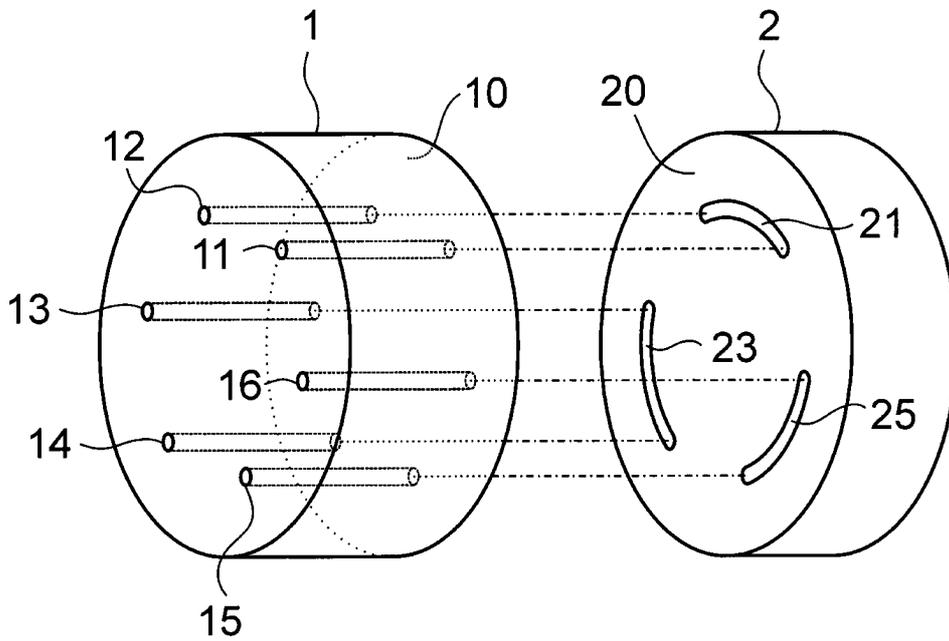


Fig. 4 (Stand der Technik)

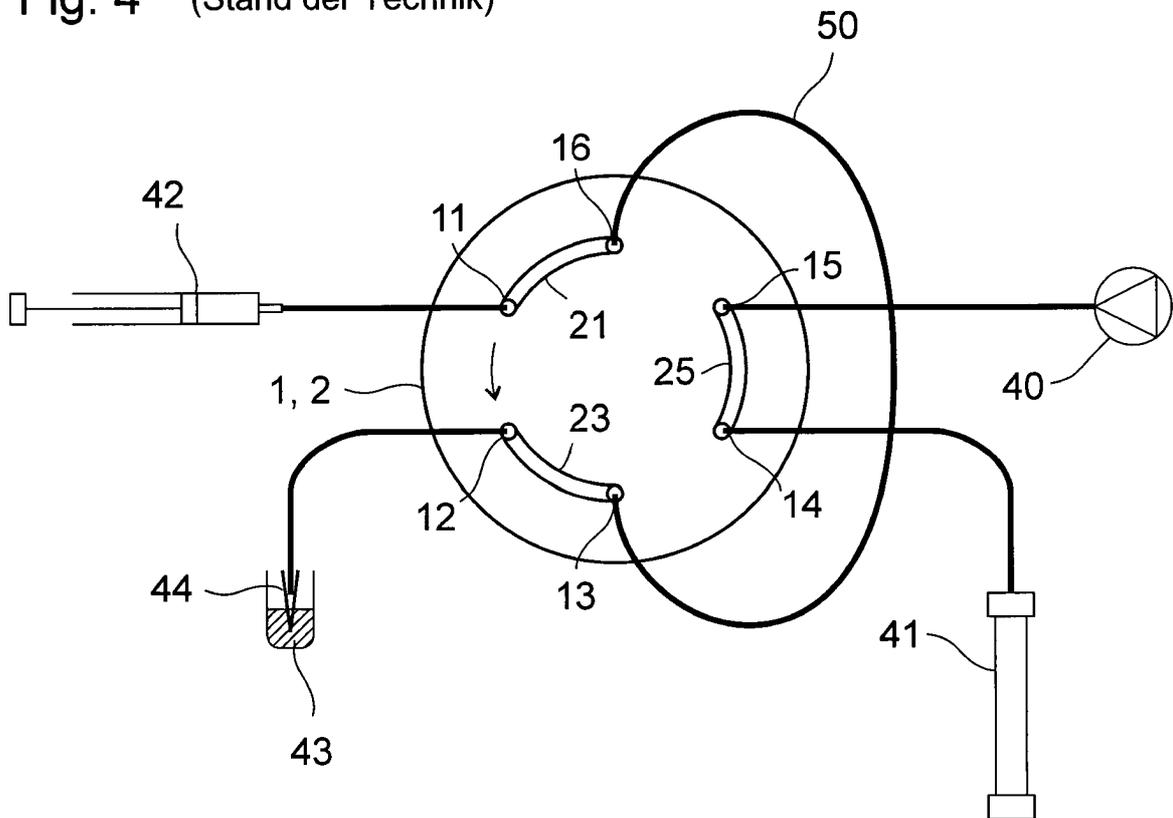
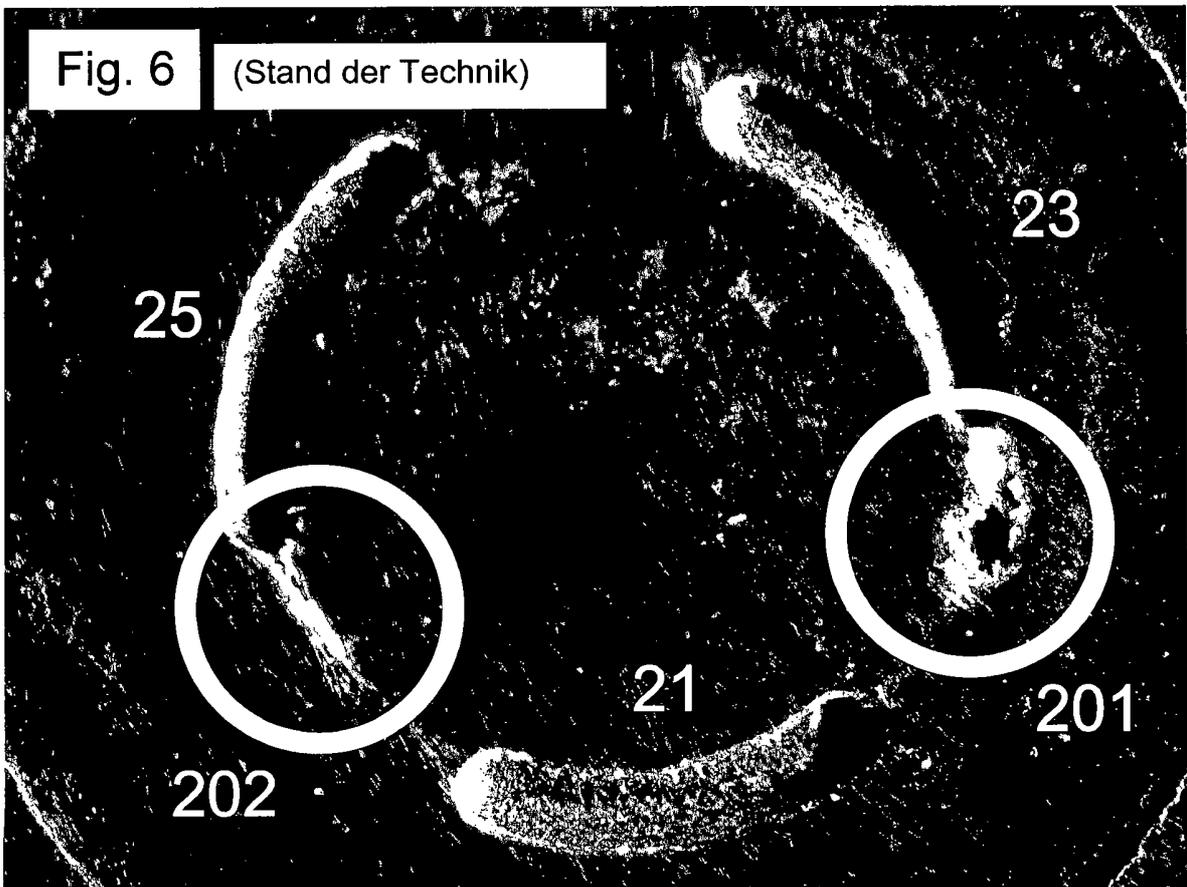
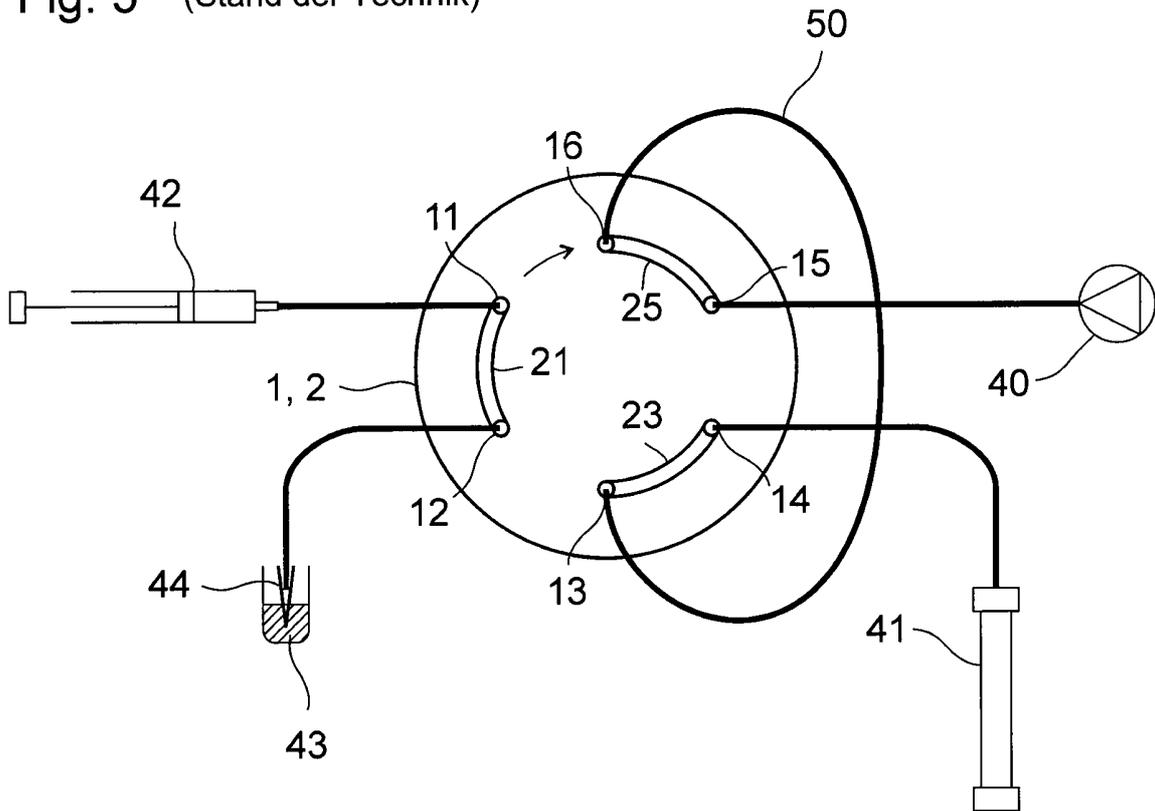


Fig. 5 (Stand der Technik)



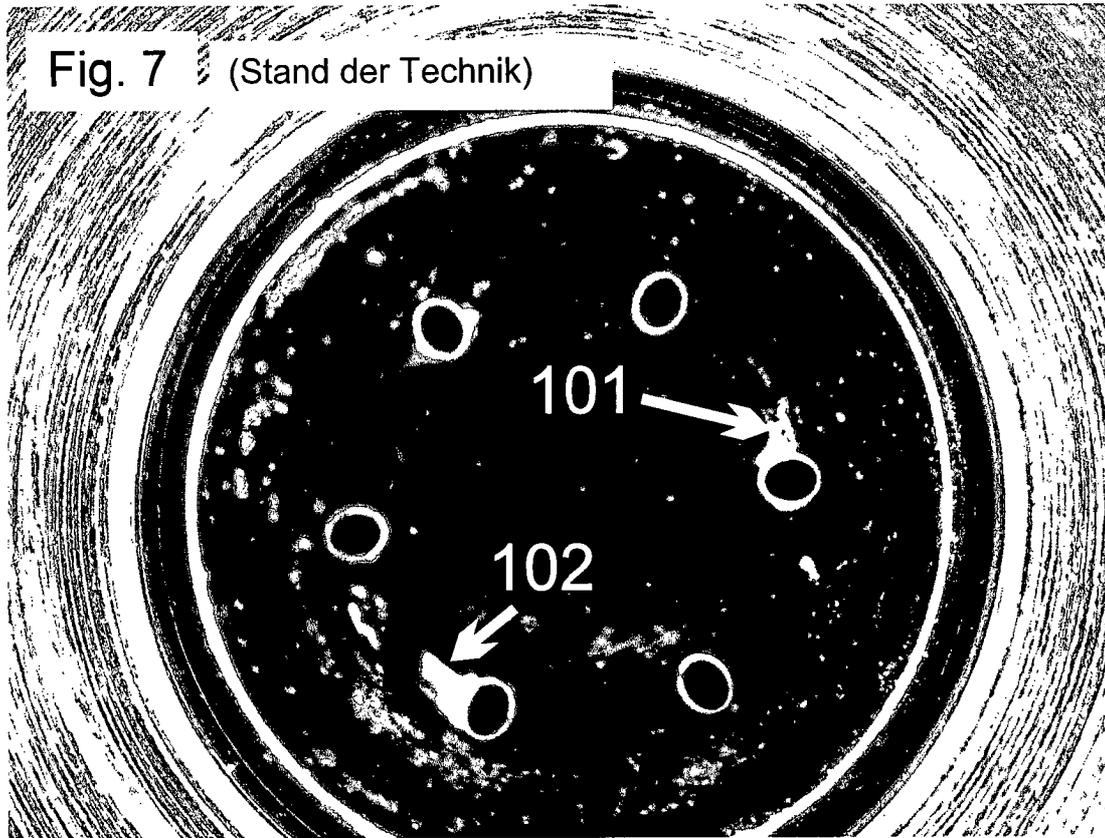


Fig. 8 (Stand der Technik)

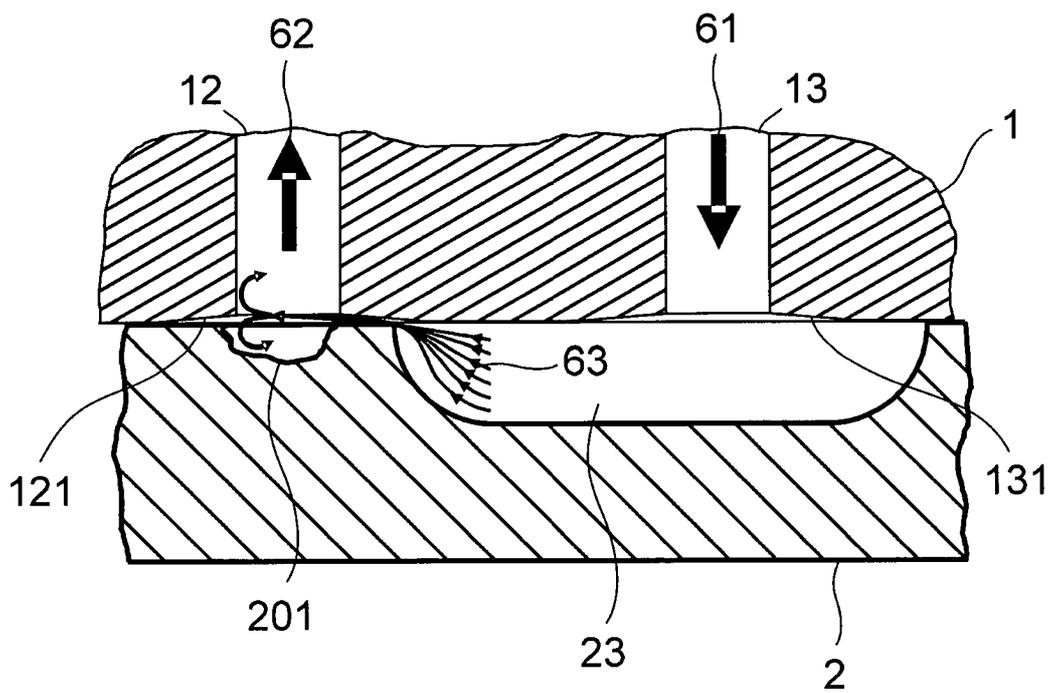


Fig. 9 (Stand der Technik)

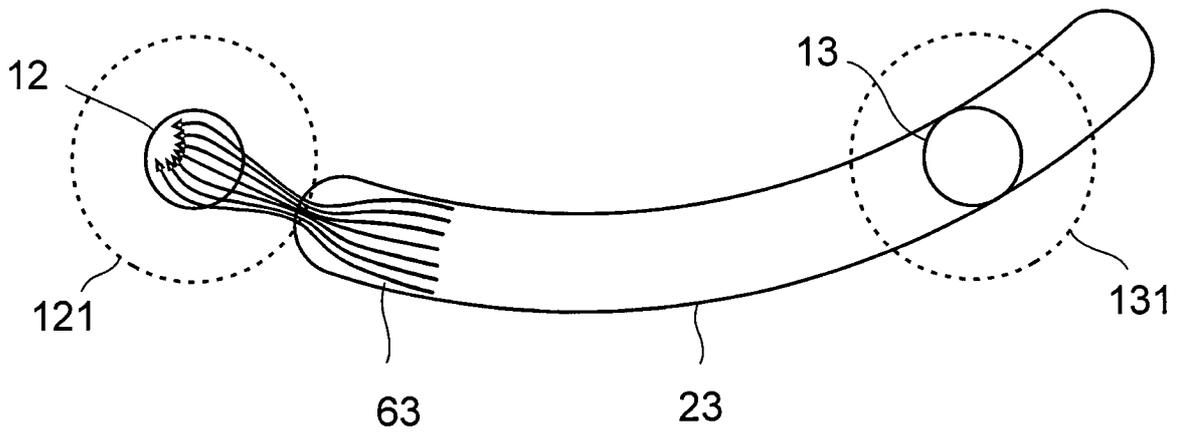


Fig. 10

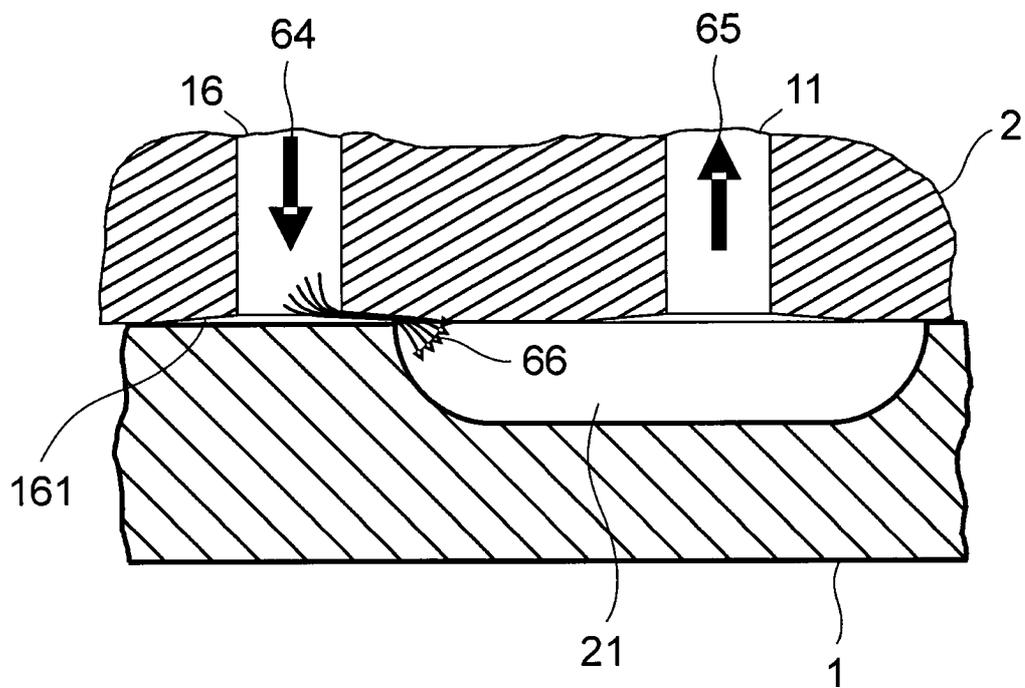


Fig. 11

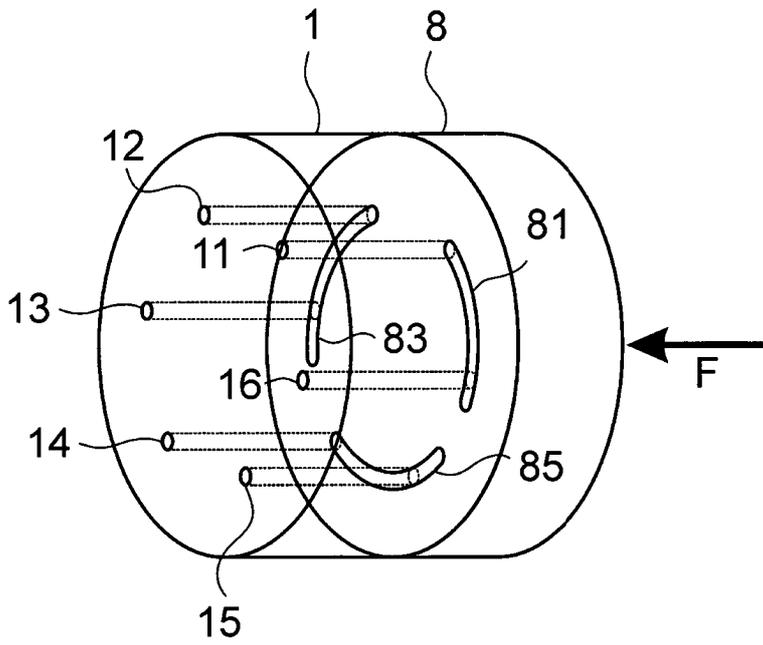


Fig. 12

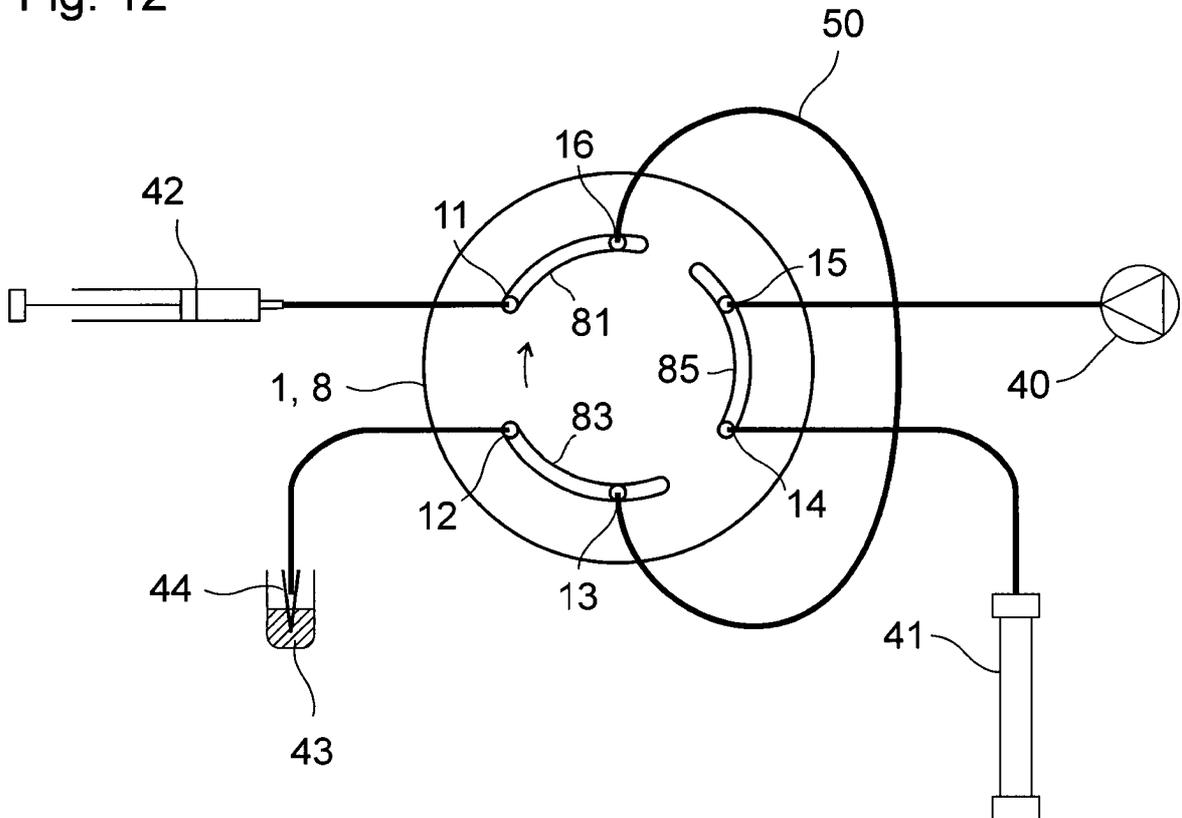


Fig. 13

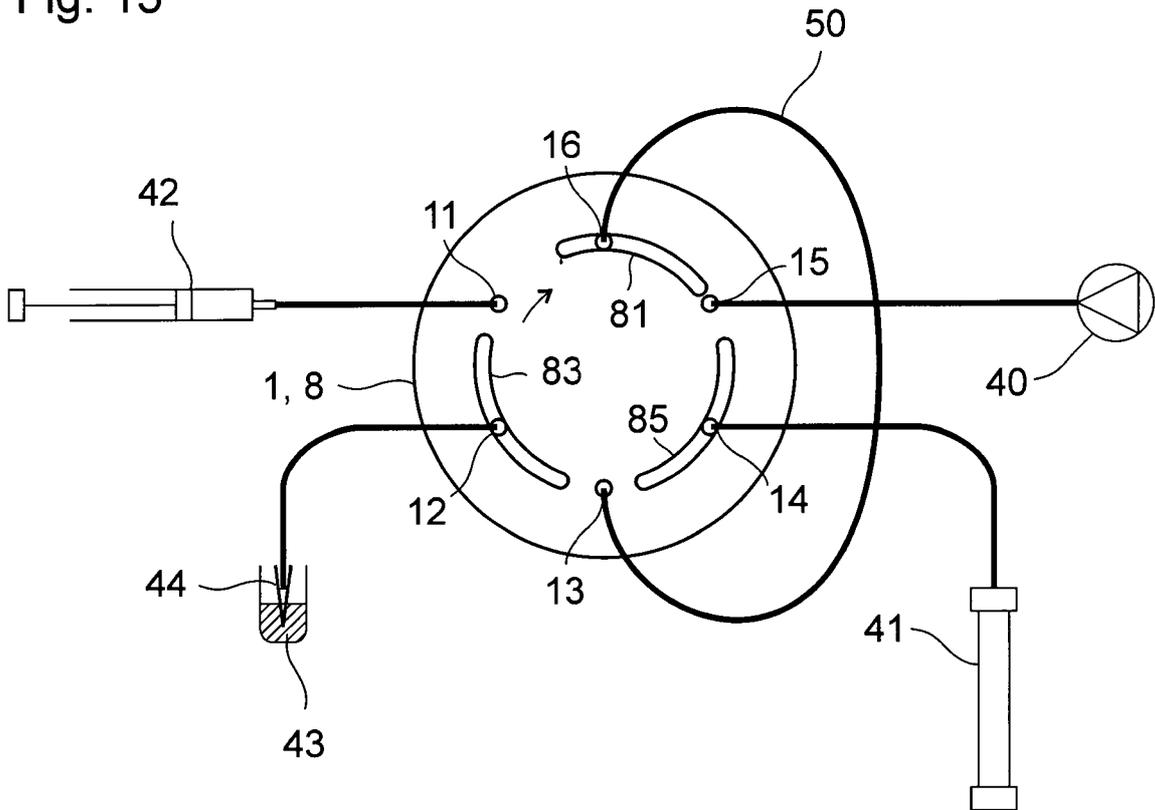


Fig. 14

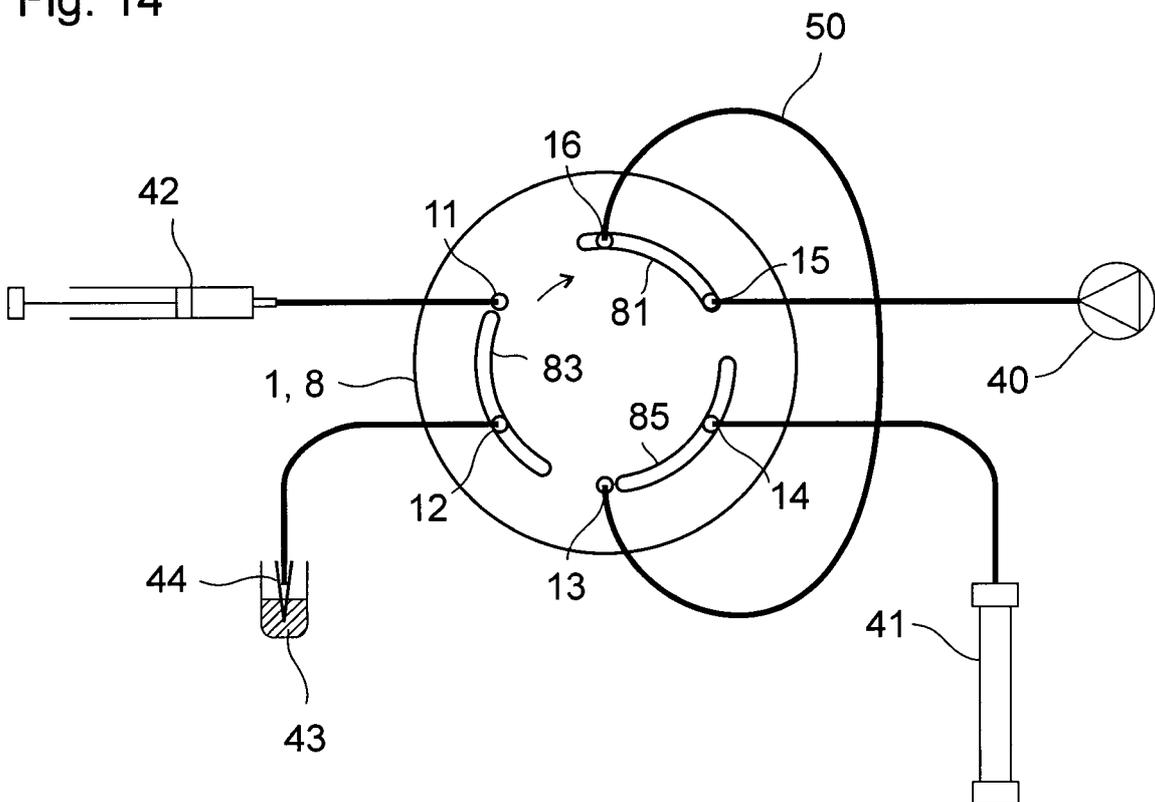


Fig. 15

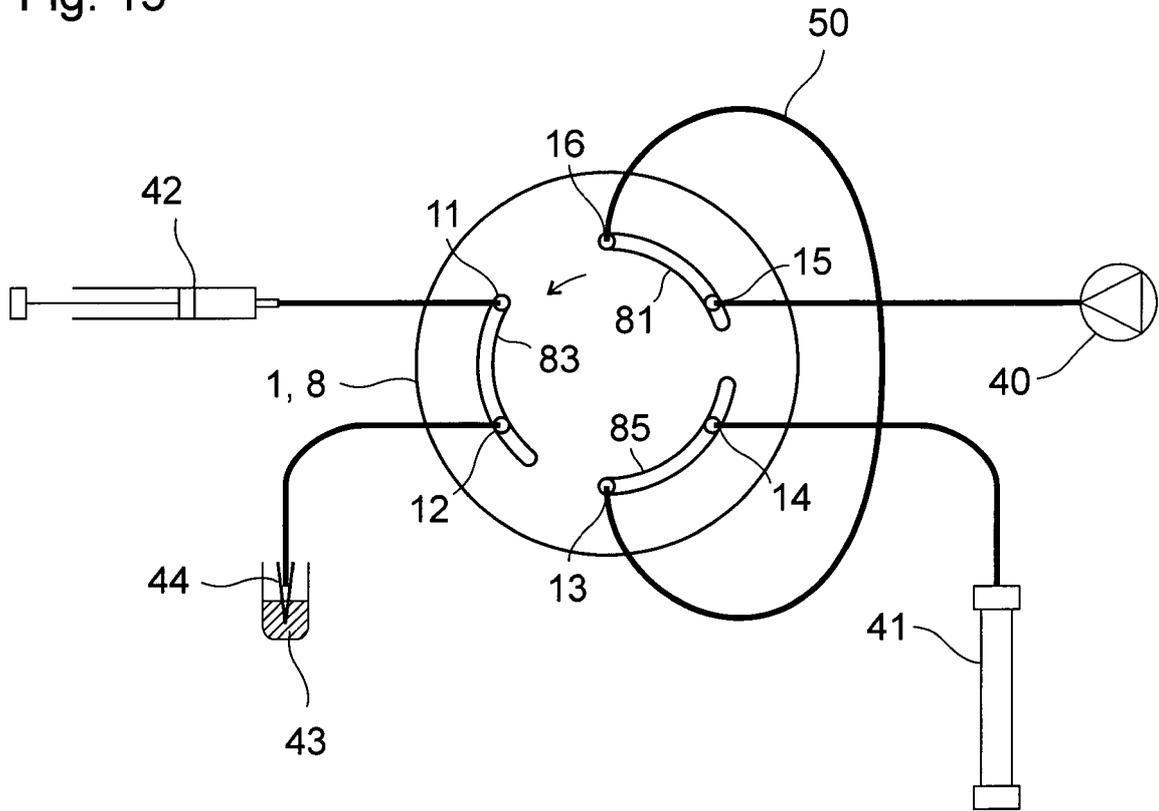


Fig. 16

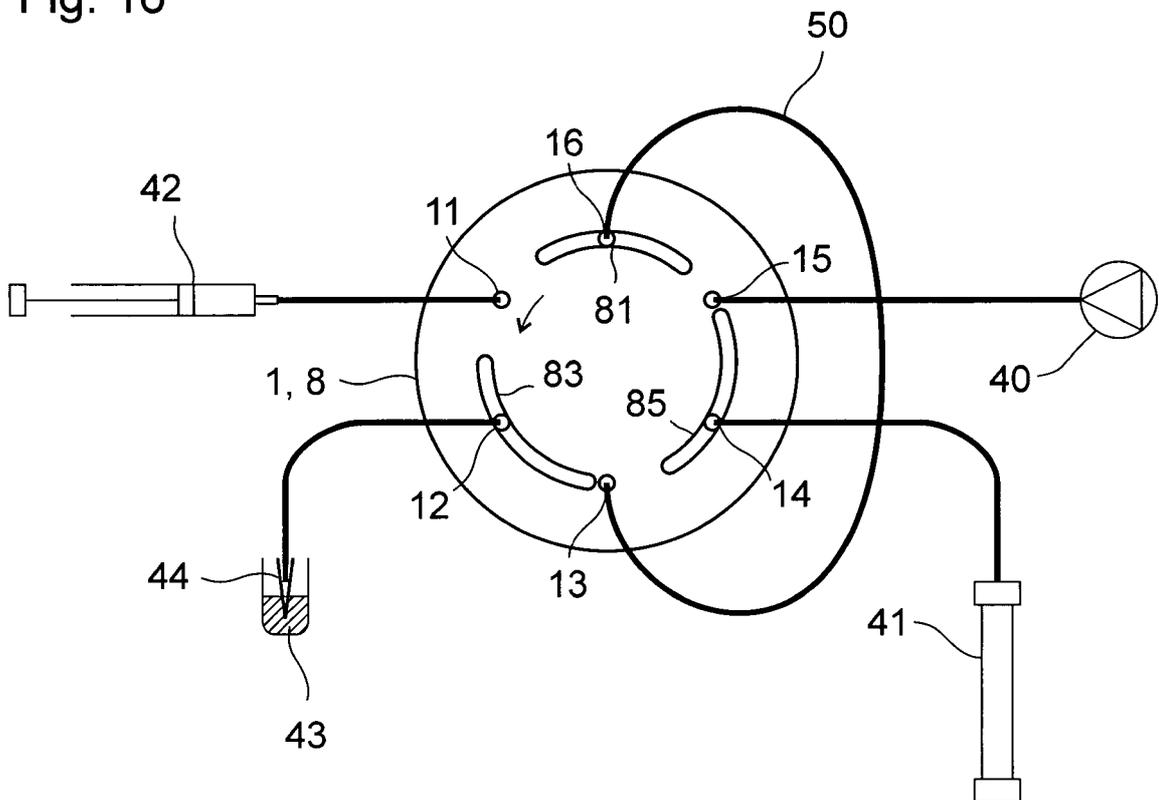


Fig. 17

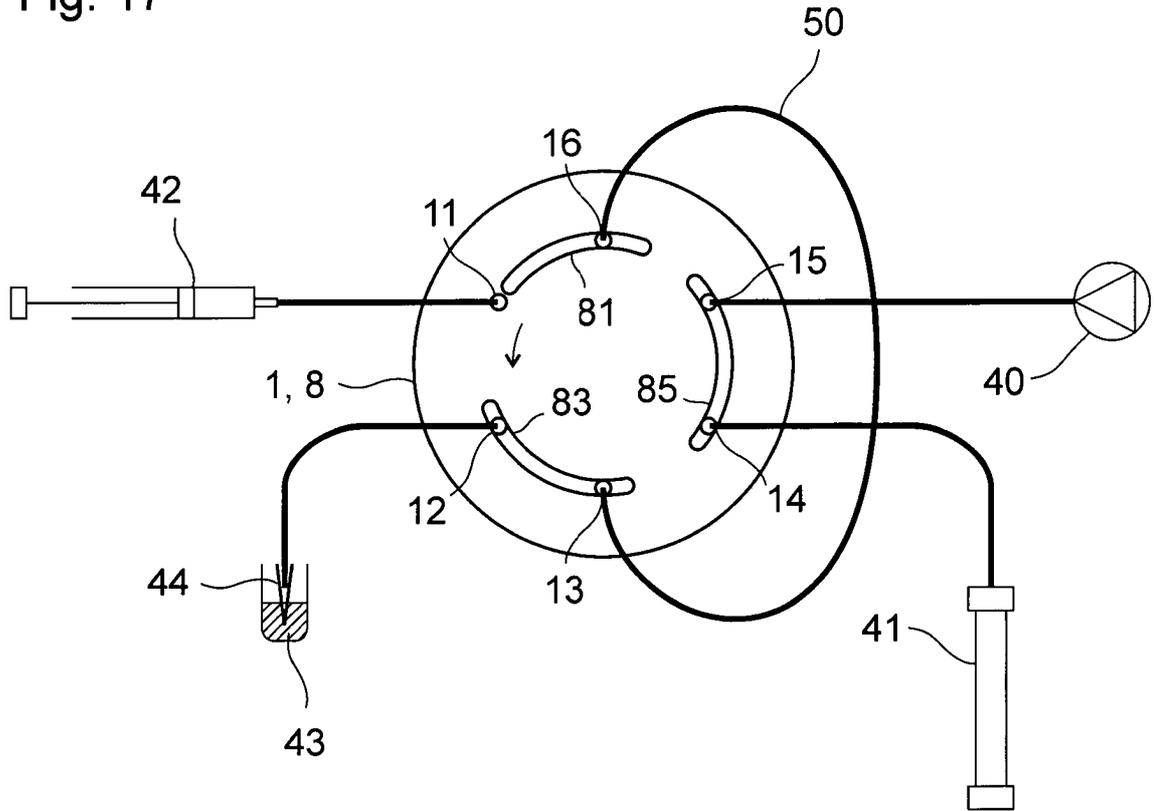


Fig. 18

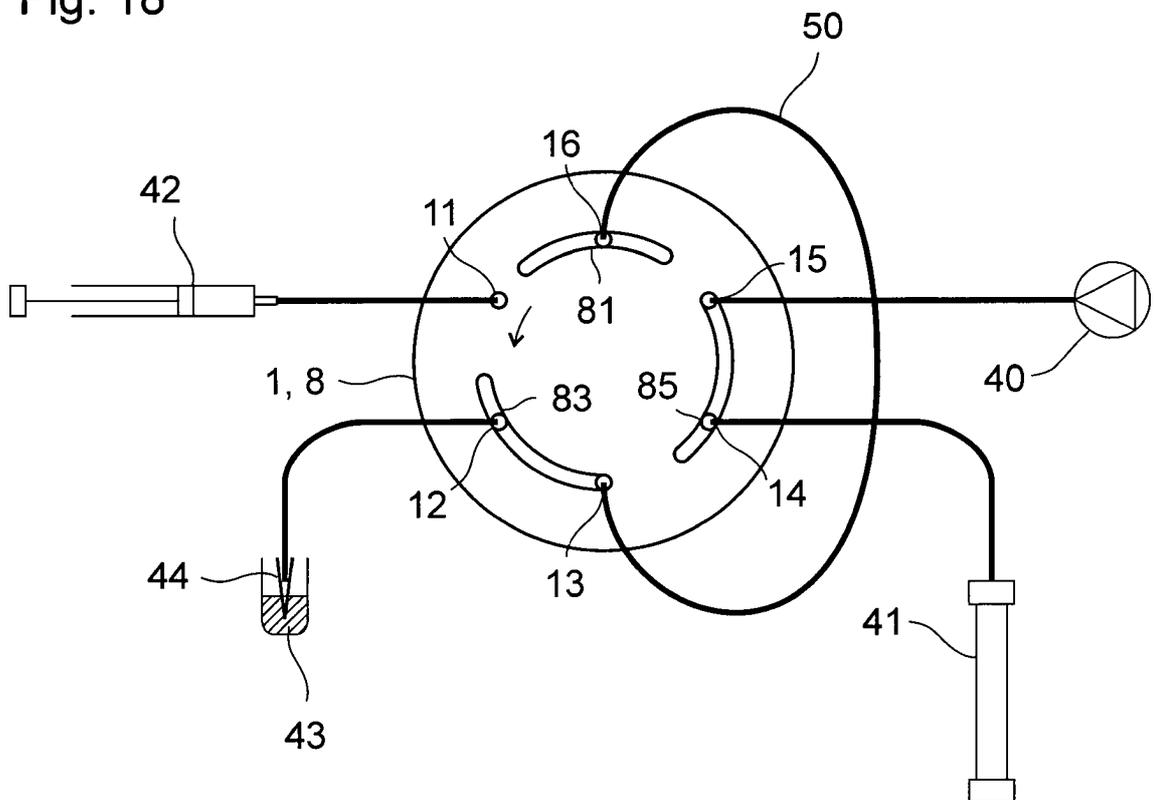


Fig. 19

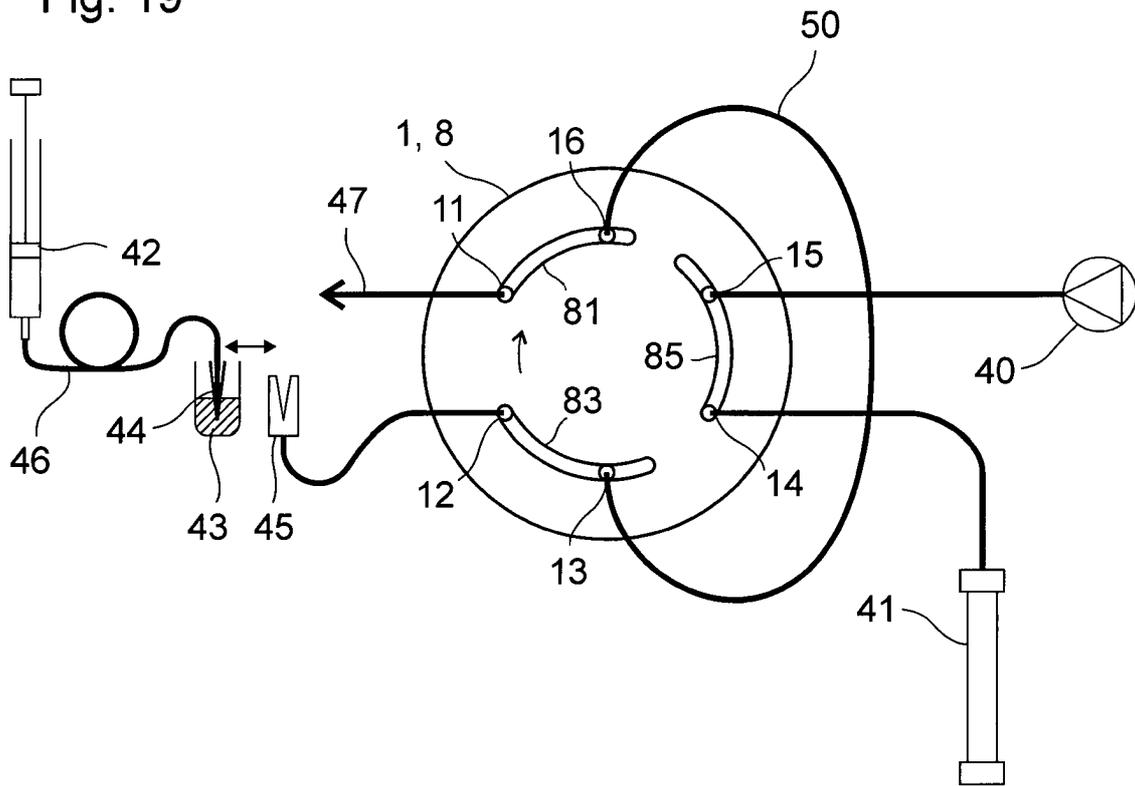


Fig. 20

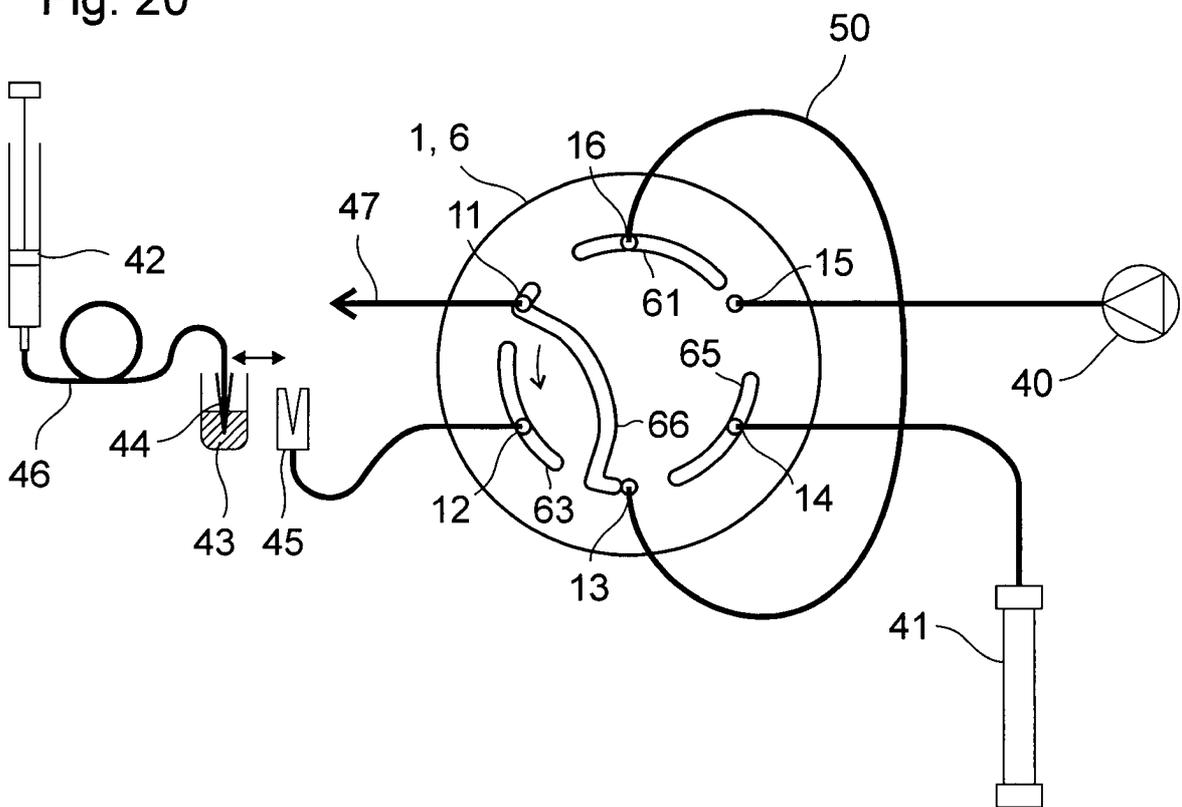


Fig. 23

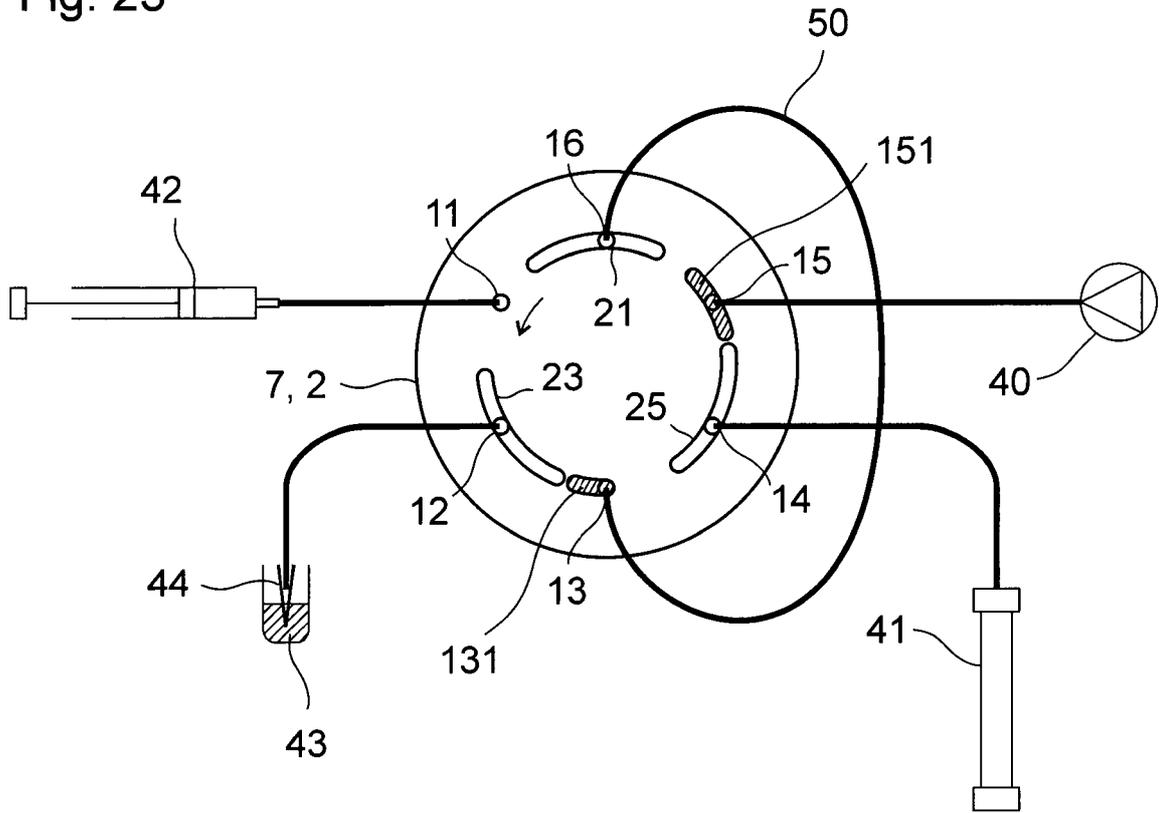


Fig. 24

