



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**10.08.2011 Patentblatt 2011/32**

(51) Int Cl.:  
**H01J 49/40<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **10152072.4**

(22) Anmeldetag: **29.01.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA RS**

(72) Erfinder: **Bisling, Peter**  
**21465, Reinbek (DE)**

(74) Vertreter: **UEXKÜLL & STOLBERG**  
**Patentanwälte**  
**Beselerstrasse 4**  
**22607 Hamburg (DE)**

(71) Anmelder: **Helmholtz-Zentrum Geesthacht**  
**Zentrum für Material- und Küstenforschung**  
**GmbH**  
**21502 Geesthacht (DE)**

(54) **Reflektor für ein Flugzeitmassenspektrometer**

(57) Dargestellt und beschrieben ist ein Reflektor für ein Flugzeitmassenspektrometer zur Reflexion ionisierter Atome und/oder Moleküle mit einer Eintrittsöffnung und mit einer sich entlang einer Längsachse des Reflektors von der Eintrittsöffnung weg erstreckenden Anordnung aus hintereinander angeordneten Ringelektroden sowie ein Flugzeitmassenspektrometer. Die Aufgabe, einen Reflektor für ein Flugzeitmassenspektrometer bzw. ein solches Massenspektrometer bereitzustellen, wobei

bei hoher Nachweiswahrscheinlichkeit eine verbesserte Massenauflösung gegeben ist, wird dadurch gelöst, dass die zur Eintrittsöffnung nächste Ringelektrode als Korrektorelektrode dient und dazu auf einem gegenüber den übrigen Ringelektroden entgegengesetzten elektrischen Potential liegt, dass eine Abschirmelektrode auf der von den Ringelektroden abgewandten Seite der Eintrittsöffnung vorgesehen ist und dass die Abschirmelektrode auf einem Potential, das von dem der Ringelektroden abweicht, vorzugsweise Erdpotential, liegt.

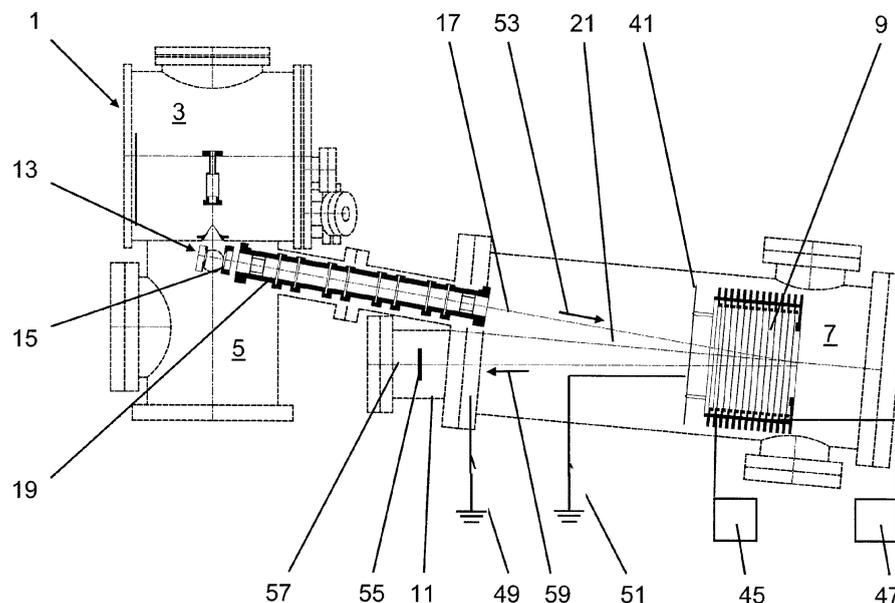


Fig. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Reflektor für ein Flugzeitmassenspektrometer zur Reflexion ionisierter Atome und/oder Moleküle mit einer Eintrittsöffnung und mit einer sich entlang einer Längsachse des Reflektors von der Eintrittsöffnung weg erstreckenden Anordnung aus hintereinander angeordneten Ringelektroden sowie ein Flugzeitmassenspektrometer.

**[0002]** Insbesondere zur Analyse der chemischen Zusammensetzung von Proben unterschiedlichen Typs ist es seit langem bekannt, sogenannte Massenspektrometer einzusetzen, mit denen das Material der Probe im Hinblick auf die Verteilung der Atom- / Molekülgewichte hin analysiert wird. In diesem Zusammenhang werden häufig sogenannte Flugzeitmassenspektrometer eingesetzt, bei denen die Atome/Moleküle des zu analysierenden Materials zunächst ionisiert werden und dann mit Hilfe elektrischer Felder beschleunigt werden, wobei den ionisierten Atomen/Molekülen eine vorgegebene kinetische Energie zugeführt wird. Dabei wird die Flugzeit gemessen, die die Ionen benötigen, um von dem Punkt, an dem sie ionisiert werden, zu einem Detektor zu laufen, wobei die Ionisierung nicht kontinuierlich, sondern gepulst erfolgen kann, beispielsweise mit Hilfe von Laserpulsen, so dass ein definierter Startzeitpunkt für die Laufzeitmessung gegeben ist.

**[0003]** Die Flugzeit, die die ionisierten Atome/Moleküle für die vorgegebene Wegstrecke benötigen, ist ein Maß für deren Masse, da bei einer vorgegebenen festen kinetischen Energie solche Atome/Moleküle mit einer großen Masse eine längere Zeit für das Zurücklegen der Wegstrecke benötigen als leichte.

**[0004]** Um nun die Massenauflösung eines solchen Flugzeitmassenspektrometers weiter zu erhöhen, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, entlang der Wegstrecke, die die ionisierten Atome/Moleküle zurücklegen, einen sogenannten Reflektor einzufügen. Dabei bewegen sich die beschleunigten ionisierten Atome/Moleküle (Ionen) zunächst auf den Reflektor zu, werden dort abgebremst und werden dann mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung wieder aus dem Reflektor heraus und in Richtung des Detektors beschleunigt. Der Reflektor arbeitet dabei mit einem elektrostatischen Feld, das die gleiche Polarität wie der Ladungszustand der einlaufenden Ionen aufweist.

**[0005]** In diesem Zusammenhang ist zunächst mit einem sogenannten Netz-Reflektor gearbeitet worden, bei dem die Elektroden netzförmig ausgebildet sind, was unter anderem mit dem Vorteil verbunden ist, dass sich das elektrostatische Feld des Reflektors nicht über dessen Volumen hinaus in die Driftstrecke, entlang derer sich die Ionen zu dem Detektor bewegen, ausbreitet. Solche Netzelektroden sind jedoch mit dem Nachteil verbunden, dass ein Teil der durch den Reflektor sich bewegenden Ionen von den Netzelektroden gestreut oder von den elektrostatischen Nahfeldern der Netze abgelenkt wird und damit nicht mehr zum Detektor gelangt. Dies wie-

derum führt dazu, dass die Nachweiswahrscheinlichkeit herabgesetzt wird.

**[0006]** Aus diesem Grund werden Reflektoren mit netzfreien Ringelektroden eingesetzt, bei denen die Elektroden entlang einer gemeinsamen Achse angeordnet sind. Auf diese Weise wird vermieden, dass die Ionen in dem Reflektor in Kontakt mit den Elektroden gelangen können, so dass dies zu einer im Vergleich zu Netzelektroden erhöhten Transmission und somit erhöhten Nachweiswahrscheinlichkeit führt. Aus der DE 35 24 536 A1 ist ein Flugzeitmassenspektrometer mit einem solchen Reflektor bekannt.

**[0007]** Nachteilig an derartigen Reflektoren ist jedoch, dass bei einer derartigen Ringelektrodenanordnung die Driftstrecken, entlang derer sich die Ionen bewegen, nicht feldgradientenfrei sind. Es ist aber gerade die Annahme, dass sich Ionen mit gleichem Atom-/Molekülgewicht außerhalb des Reflektors in einem feldgradientenfreien Bereich befinden und daher deren Geschwindigkeit konstant ist. Ein Randfeld, das sich aus dem Reflektor hinaus in diesen eigentlich feldgradientenfreien Raum erstreckt, hat zur Folge, dass sich die Massenauflösung des Flugzeitmassenspektrometers verschlechtert.

**[0008]** Grundsätzlich kann bei Reflektoren mit netzfreien Elektroden der Durchgriff des Feldes innerhalb des Reflektors auf die an sich feldgradientenfreie Driftstrecke auch dadurch minimiert werden, dass der Durchmesser der Eintrittsöffnung bzw. der ersten Ringelektrode sehr klein gehalten wird. Dies aber reduziert den Bereich des Akzeptanzwinkels für die nachzuweisenden Ionen und hat wiederum zur Folge, dass sich die Anzahl der in den Reflektor eintretenden Ionen und damit insgesamt die Nachweiswahrscheinlichkeit aufgrund höherer Transmissionsverluste verringert.

**[0009]** Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, einen Reflektor für ein Flugzeitmassenspektrometer bzw. ein solches Massenspektrometer bereitzustellen, wobei bei hoher Nachweiswahrscheinlichkeit eine verbesserte Massenauflösung gegeben ist.

**[0010]** Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die zur Eintrittsöffnung nächste Ringelektrode auf einem gegenüber den übrigen Ringelektroden entgegengesetzten elektrischen Potential liegt, dass eine Abschirmelektrode auf der von den Ringelektroden abgewandten Seite der Eintrittsöffnung vorgesehen ist und dass die Abschirmelektrode auf einem Potential, das von dem der Ringelektroden abweicht, vorzugsweise Erdpotential, liegt. Aufgrund der als Korrektorelektrode wirkenden Ringelektrode mit entgegengesetztem Potential und der Abschirmelektrode sind die Driftstrecken für die Ionen außerhalb des Reflektors tatsächlich größtenteils feldgradientenfrei, und in diesen Bereichen hat das elektrische Feld innerhalb des Reflektors keinen Einfluss auf die Bewegung der Ionen, sodass die Ionen weder beschleunigt noch gebremst werden. Dies erhöht die Massendispersion durch die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Ionen mit unterschiedlichen Atom-/Molekülgewichten

und führt zu einer Verbesserung der Massenauflösung.

**[0011]** Dabei steckt hinter der Idee der Korrektorelektrode die Vorstellung, den Felddurchgriff auf die an sich feldgradientenfreien Driftstrecken zu unterbinden, ohne dass sich im Bereich der Ionentrajektorien Hindernisse befinden. Stattdessen werden die Störungen mit Hilfe eines elektrischen Feldes vermieden.

**[0012]** Somit kann ein Durchgriff des Feldes aus dem Reflektor in den feldgradientenfreien Bereich der Driftstrecken auch ohne eine Verringerung der Größe der Eintrittsöffnung erreicht werden.

**[0013]** Wenn die Eintrittsöffnung größer ausgebildet ist, können die Ionen auch noch unter einem größeren Winkel relativ zu der Längsachse des Reflektors in diesen einfallen und werden dennoch ohne große Verluste reflektiert. Das bedeutet, dass die Driftstrecken, entlang derer sich die Ionen auf den Reflektor zu und von diesem weg bewegen einen größeren Winkel einschließen können. Die Abmessungen der Ionenquelle und des Detektors des Massenspektrometers senkrecht zu der durch die Driftstrecken definierten Richtung liegen im Wesentlichen fest, sodass auch der Mindestabstand dieser Elemente vorgegeben ist. Wenn nun der maximale Ein- und Ausfallswinkel bzw. der maximale Winkel, den die Driftstrecken einschließen können, aufgrund der größeren Einfallsrichtung ebenfalls größer ist, können Ionenquelle und Detektor näher am Reflektor angeordnet werden, sodass sich die Baugröße des Massenspektrometers bei verbesserter Massenauflösung durch die Erfindung verringern lässt.

**[0014]** Die Höhe der elektrischen Spannung, mit der die Korrektorelektrode versorgt wird, ist weitgehend frei wählbar, sodass dieser Parameter noch zur Verfügung steht, um die Winkeldivergenz des im Reflektor reflektierten Ionenstrahls auf die Detektorgeometrie zu optimieren. Für Ionen mit einer kinetischen Energie von -1 Kiloelektronenvolt (keV) liegt die Spannung zur Versorgung der der Eintrittsöffnung nächsten Ringelektrode vorzugsweise zwischen -1 Kilovolt (kV) und -4 kV.

**[0015]** Durch die auf der von den Ringelektroden abgewandten Seite der Eintrittsöffnung angeordnete Abschirmelektrode, die auf dem Potential des feldgradientenfreien Raums für die Driftstrecken, in bevorzugter Weise auf Erdpotential, liegt, wird der Einfluss der im Reflektor erzeugten elektrischen Felder auf die Driftstrecken weiter reduziert.

**[0016]** In einer bevorzugten Ausführungsform haben die Ringelektroden eine Blendenöffnung, wobei die Blendenöffnung der zur Eintrittsöffnung nächsten Ringelektrode größer als die der übrigen Ringelektroden ist. Bei einer derartigen Anordnung wird der Effekt erzielt, dass einerseits vermieden wird, dass sich das Feld der für positiv geladenen Ionen auf positivem Potential liegenden weiteren Ringelektroden in den Bereich der Driftstrecken ausbreitet. Andererseits wird auch die Beschleunigungswirkung der weiteren Ringelektroden nicht durch die am nächsten zur Eintrittsöffnung gelegene Ringelektrode zu stark beeinträchtigt.

**[0017]** Um eine räumlich gleichmäßige Wirkung der Abschirmelektrode zu erzielen ist diese vorzugsweise ringförmig mit einer Öffnung ausgebildet und erstreckt sich in einer Ebene, die senkrecht zur Längsachse des Reflektors verläuft. Dabei ist die Durchgangsöffnung der Abschirmelektrode vorzugsweise kleiner oder gleich der Blendenöffnung der Ringelektrode, die der Eintrittsöffnung am nächsten liegt, um einen hinreichend großen Effekt durch die Abschirmelektrode zu erreichen. Außerdem kann der Abstand zwischen der Abschirmelektrode und der der Eintrittsöffnung am nächsten gelegenen Ringelektrode einstellbar sein, um dadurch die Fokussierung des den Reflektor verlassenden Ionenstrahls zu verbessern.

**[0018]** In einer bevorzugten Ausführungsform des Reflektors ist ein Halter vorgesehen, der die Eintrittsöffnung umgibt, und die Abschirmelektrode ist am Halter angebracht, wobei eine solche Anordnung einfach zu montieren ist. Der Halter kann dabei ebenfalls auf Erdpotential liegen.

**[0019]** Außerdem wird die obige Aufgabe durch ein Flugzeitmassenspektrometer gelöst mit einer Ionenquelle zur Ionisierung von Atomen und/oder Molekülen, mit einer Elektrodenanordnung, die eine Repeller-Elektrode und eine Abzugselektrode umfassen kann, zur Beschleunigung ionisierter Atome und/oder Moleküle in eine erste Richtung mit Hilfe elektrischer Felder, mit einem elektrostatischen Reflektor, der in der zuvor beschriebenen Weise aufgebaut ist, zur Reflexion der sich entlang der ersten Richtung bewegenden ionisierten Atome und/oder Moleküle in eine zweite Richtung, wobei der Reflektor derart angeordnet ist, dass die Längsachse des Reflektors die Winkelhalbierende zwischen der ersten und der zweiten Richtung bildet, und mit einem entlang der zweiten Richtung angeordneten Detektor zum Nachweis des Auftreffens der ionisierten Atome und/oder Moleküle. Dabei werden die im Zusammenhang mit dem Reflektor beschriebenen Vorteile erzielt.

**[0020]** Die vorliegende Erfindung wird im Folgenden anhand einer lediglich ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung erläutert. Die Zeichnung zeigt in

Fig. 1 einen Schnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Flugzeitmassenspektrometers,

Fig. 2 einen Längsschnitt durch den Teil des Flugzeitmassenspektrometers aus Fig. 1 mit dem Reflektor,

Fig. 3 einen Längsschnitt durch einen Teil des Reflektors gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel,

Fig. 4 eine grafische Darstellung der Stärke des elektrischen Feldes im Bereich vor der Eintrittsöffnung,

Fig. 5 eine grafische Darstellung der Stärke des elektrischen Feldes im Inneren des Reflektors gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel und

Fig. 6 eine grafische Darstellung der Massenauflösung bei einem Massenspektrometer gemäß dem Ausführungsbeispiel im Vergleich zum Stand der Technik.

**[0021]** Das in Fig. 1 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Flugzeitmassenspektrometers ist in einem mehrere Kammern umfassenden Vakuumrezipienten 1 angeordnet, dessen Wandungen in der Zeichnung gestrichelt dargestellt sind und der mittels einer nicht dargestellten Pumpeneinrichtung differentiell evakuiert werden kann, sodass das gesamte Spektrometer unter Vakuum betrieben wird.

**[0022]** Der Vakuumrezipient 1 umfasst eine Probenkammer 3, eine Ionisationskammer 5 und eine Reflektorkammer 7 mit Driftstrecken 53, 59 und dem Reflektor 9. Schließlich ist eine Detektorkammer 11 vorgesehen, die als Rohransatz mit einem Flansch ausgebildet ist und in der der Detektor 55 zum Erfassen der vom Reflektor 9 umgelenkten ionisierten Atome und/oder Moleküle angeordnet ist.

**[0023]** Weiterhin weist das Flugzeitmassenspektrometer eine Ionenquelle 13 zur Ionisierung von Atomen oder Molekülen auf, sodass die Bestandteile einer Probe, die zunächst in die Probenkammer 3 eingebracht und dann mittels eines Gasstrahls in die Ionisationskammer 5 überführt werden, ionisiert werden können. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel erfolgt die Ionisierung mit Hilfe eines gepulsten Lasers (nicht dargestellt), sodass nur zu den durch die Laserpulse vorgegebenen Zeitpunkten Ionen erzeugt werden.

**[0024]** Die Ionenquelle 13 weist in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel eine Repeller-Elektrode 14 und eine Abzugselektrode 15 umfassende Elektrodenanordnung auf, durch die die ionisierten Atome/Moleküle mit Hilfe eines elektrischen Feldes entlang einer ersten Richtung 17 beschleunigt werden.

**[0025]** An die Repeller-Elektrode 14 und die Abzugselektrode 15 schließt sich entlang der ersten Richtung 17 eine Ionenlinse 19 an, mit der der aus der Ionenquelle 13 mit Hilfe der Repeller-Elektrode 14 und der Abzugselektrode 15 extrahierte Ionenstrahl in geeigneter Weise gebündelt werden kann, um eine möglichst hohe Nachweiswahrscheinlichkeit im Detektor 55 zu erzielen. Die Ionenlinse 19 weist eine Vielzahl nicht näher beschriebener ionenoptischer Elemente auf, die im Betrieb mit einer nicht dargestellten Spannungsversorgung verbunden sind, sodass auf die durchlaufenden Ionen elektrische Felder wirken.

**[0026]** Außerdem weist das Flugzeitmassenspektrometer einen sich entlang einer Längsachse 21 erstreckenden elektrostatischen Reflektor 9 zur Reflexion von Ionen auf, der als netzfreier Ionenreflektor ausgebildet

ist. Unter dem Begriff "netzfrei" ist in diesem Zusammenhang zu verstehen, dass der Reflektor 9 keine als Netze ausgebildete Elektroden aufweist, die sich durch den Weg erstrecken, entlang dem sich die Ionen bewegen.

**[0027]** Der Reflektor 9 ist über einen Aufnahmering 22 und Haltestangen 23 an einem Flansch, der die Wandung der Reflektorkammer 7 bildet, befestigt und weist eine kreisförmige Eintrittsöffnung 25 auf, die in diesem bevorzugten Ausführungsbeispiel in einem ringförmigen Halter 27 ausgebildet ist, wobei der Halter aber nicht zwingend vorgesehen sein muss. An den Halter 27 schließt sich eine Anordnung aus parallel zueinander angeordneten Ringelektroden 29, 31 mit kreisförmigen Blendenöffnungen 32, 32' an. In dieser bevorzugten Ausführungsform weisen die Ringelektroden 29, 31 jeweils eine Ringhalterung 33 und eine daran über Schrauben befestigte Blendenelektrode 35 auf, die mit den Blendenöffnungen 32 bzw. 32' versehen sind. Dabei sind die einzelnen Ringelektroden 29, 31 äquidistant jeweils in Ebenen angeordnet, die senkrecht zu der Längsachse 21 des Reflektors 9 verlaufen. Außerdem ist der Durchmesser der Blendenöffnung 32' der zur Eintrittsöffnung 25 im Halter 27 nächsten Ringelektrode 31 größer als der der übrigen Ringelektroden 29. Der Reflektor 9 weist schließlich am vom Halter 27 entfernten Ende eine Reflektorelektrode 37 sowie den Aufnahmering 22 für die Haltestangen 23 auf.

**[0028]** Erfindungsgemäß ist die am nächsten zu der Eintrittsöffnung 25 gelegene Ringelektrode als Korrektorelektrode 31 ausgebildet, wobei sie die gleiche Form wie die übrigen Ringelektroden 29 hat, jedoch mit einer größeren Blendenöffnung 32' versehen ist. Die Korrektorelektrode 31 liegt auf einem negativen Potential, das von einer ersten Spannungsversorgung 45 geliefert wird und für positiv geladene Ionen mit einer kinetischen Energie von 1 keV typischerweise zwischen -1 kV und -4 kV liegen kann. Dagegen sind die dahinter in Richtung der Reflektorelektrode 37 angeordneten Ringelektroden 29 für die in den Reflektor 9 eintreffenden Ionen als Bremsselektroden ausgebildet und liegen auf einem zur Reflektorelektrode 37 hin ansteigenden positiven Potential. Die Ringelektroden 29 können dabei über eine in Figur 1 ebenfalls schematisch dargestellte zweite Spannungsversorgung 47 auf voneinander abweichende positive Potentiale gelegt werden. Dies kann entweder derart geschehen, dass die einzelnen Ringelektroden 29 unabhängig voneinander mit der Spannungsversorgung 47 verbunden sind, oder die einzelnen Ringelektroden 29 über Widerstände elektrisch miteinander verbunden sind, sodass dann, wenn zwischen der ersten und der letzten Ringelektrode 29 eine Spannung anliegt, die einzelnen Ringelektroden 29 auf einem jeweils anderen Potential liegen. Die Korrektorelektrode 31 kann also auf ein zu den übrigen Ringelektroden 29 frei wählbares, entgegengesetztes Potential gelegt werden.

**[0029]** Außerdem ist an dem Halter 27 beabstandet dazu eine ebenfalls ringförmig ausgebildete Abschirmelektrode 41 mit einer kreisförmigen Öffnung 42 vorge-

sehen, wobei zwischen dem Halter 27 und der Abschirmelektrode 41 Distanzstücke 43 vorgesehen sind. Der Durchmesser der Durchgangsöffnung 42 ist kleiner als der der Blendenöffnung 32' in der Korrektorelektrode 31 ausgebildet. Ferner liegt die Abschirmelektrode 41 auf einem Potential, das von dem der Ringelektroden 29, 31 abweicht, und beim vorliegenden Ausführungsbeispiel auf dem Potential, auf dem auch die Driftstrecken im Vakuumrezipienten 1 liegen, nämlich auf Erdpotential, wie dies durch die Erdungsverbindungen 49, 51 angedeutet ist.

**[0030]** Es ist aber auch denkbar, das sowohl die Abschirmelektrode 41 als auch die Driftstrecken 53 und 59 auf ein gemeinsames Potential gelegt werden, das vom Potential des Vakuumrezipienten 1, also vorzugsweise vom Erdpotential, abweicht.

**[0031]** Der Abstand der Abschirmelektrode 41 vom Halter 27 sowie der Durchmesser der Durchgangsöffnung 42 der Abschirmelektrode 41 sind dabei so eingestellt, dass einerseits das elektrische Feld der Korrektorelektrode 31 zum feldgradientenfreien Bereich der Driftstrecken 53 und 59 hin abgeschirmt wird, aber andererseits nicht der Fall eintritt, dass Ionen auf die Abschirmelektrode 41 auftreffen, was zu einer reduzierten Nachweiswahrscheinlichkeit durch Transmissionsverluste führen würde. Insbesondere ist hier die Durchgangsöffnung 42 in der Abschirmelektrode 41 kleiner als die Blendenöffnung 32' der Korrektorelektrode 31.

**[0032]** Die Wegstrecke zwischen der Ionenlinse 19 und dem Reflektor 9 dient als eine feldgradientenfreie erste Driftstrecke 53 für die Ionen, wobei die erste Driftstrecke 53 entlang der ersten Richtung 17 verläuft.

**[0033]** Das Flugzeitmassenspektrometer weist außerdem einen Detektor 55 auf, der vom Reflektor 9 aus gesehen in einer zweiten Richtung 57 beabstandet vom Reflektor 9 angeordnet ist. Der Detektor 55 ist ausgestaltet, um das Auftreffen von Ionen als Funktion der Zeit zu erfassen. Zwischen dem Reflektor 9 und dem Detektor 55 ist eine feldfreie zweite Driftstrecke 59 ausgebildet, die sich entlang der zweiten Richtung 57 erstreckt.

**[0034]** Die Ionenquelle 13, die Repeller-Elektrode 14, die Abzugselektrode 15, der Reflektor 9 und der Detektor 55 sind so in dem Vakuumrezipienten 1 angeordnet, dass die erste Richtung 17, die Längsachse 21 des Reflektors 9 und die zweite Richtung 57 in einer gemeinsamen Ebene verlaufen. Außerdem verlaufen die erste und die zweite Richtung 17, 57 so, dass sie sich in einem Punkt treffen, der auf der Längsachse 21 liegt und in einem Bereich ist, der in Bewegungsrichtung der aus der Ionenquelle 13 austretenden Ionen gesehen hinter der Eintrittsöffnung 25 des Reflektors 9 liegt. Schließlich bildet die Längsachse 21 des Reflektors 9 die Winkelhalbierende zwischen der ersten Richtung 17 und der zweiten Richtung 57.

**[0035]** Das Flugzeitmassenspektrometer wird wie folgt betrieben.

**[0036]** In der Ionenquelle 13 werden die aus der Probenkammer 3 mittels eines Gasstrahls zugeführten Ato-

me und/oder Moleküle bevorzugt durch Laserpulse ionisiert. Die Ionisierung erfolgt nicht kontinuierlich, sondern gepulst, damit ein definierter Startzeitpunkt für die Laufzeitmessung gegeben ist. Dabei sind auch andere Methoden zur Ionisierung der Atome und/oder Moleküle möglich, z.B. durch Matrix-unterstützte Laser-Desorption/Ionisation (MALDI), Elektrospray-Ionisation (ESI) und Elektronenstoßionisation.

**[0037]** Die Ionen werden durch ein elektrisches Feld der Repeller-Elektrode 14 und der Abzugselektrode 15 entlang der ersten Richtung 17 beschleunigt und mit Hilfe der Ionenlinse 19 auf den Reflektor 9 ausgerichtet. Die Ionen erhalten dabei unabhängig von ihrer Masse dieselbe kinetische Energie, haben danach aber aufgrund der unterschiedlichen Massen unterschiedliche Geschwindigkeiten. Die Ionen verlassen mit ihrer jeweiligen Geschwindigkeit die Ionenquelle 13 und die Ionenlinse 19 und treten in die erste feldgradientenfreie Driftstrecke 53 ein, wo sie sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf den Reflektor 9 zu bewegen.

**[0038]** Die Ringelektroden 29 des Reflektors 9 liegen auf unterschiedlichen positiven Potentialen, wobei sich die folgenden Spannungen an den einzelnen, mit  $B_n$  bezeichneten Blenden der Ringelektroden 29 für Ionen mit der auf Erdpotential bezogenen kinetischen Energie von 1 keV als vorteilhaft erwiesen haben:

$B_1$	364 V
$B_2$	514 V
$B_3$	630 V
$B_4$	727 V
$B_5$	813 V
$B_6$	891 V
$B_7$	962 V
$B_8$	1029 V
$B_9$	1091 V
$B_{10}$	1150 V
$B_{11}$	1206 V
Reflektorelektrode 37	1260 V

**[0039]** Durch das zur Ladung der Ionen gleichnamige elektrische Potential der Ringelektroden 29 werden die eintretenden Ionen im Reflektor 9 abgebremst und anschließend in entgegengesetzter Richtung beschleunigt und verlassen den Reflektor wieder. Dabei fliegen sie entlang zur zweiten Richtung 57 ausgerichtetem zweiten Driftstrecke 59 auf den Detektor 55, wo zum Zeitpunkt des Auftreffens eines Ions ein Signal ausgegeben wird, wobei dieses Signal einen zeitlichen Abstand zu dem die Ionisation auslösenden Laserpuls hat.

**[0040]** Dabei ist dieser zeitliche Abstand ein Maß für die Masse des Ions, das das Signal erzeugt hat. Ionen

mit einer größeren Masse treffen aufgrund ihrer niedrigeren Geschwindigkeit später auf den Detektor 55 auf als leichte Ionen. Die in der Ionenquelle 13 produzierten Ionen erzeugen eine Vielzahl von Signalen, und eine Auftragung der Anzahl der Signale als Funktion des zeitlichen Abstandes vom Laserpuls stellt ein Massenspektrum der Probe dar.

**[0041]** Aufgrund der Korrektur­elektrode 31 und der Abschirmelektrode 41 sind die erste und die zweite Driftstrecke 53, 59 tatsächlich größtenteils feldgradientenfrei, und in diesen Bereichen hat das elektrische Feld innerhalb des Reflektors 9 keinen Einfluss auf die Bewegung der Ionen, sodass die Ionen hier weder beschleunigt noch gebremst werden. Dabei steckt hinter der Idee der Korrektur­elektrode 31 die Vorstellung, den Felddurchgriff auf die Driftstrecken 53, 59 zu unterbinden, ohne dass sich im Bereich der Ionentrajektorien Hindernisse befinden. Stattdessen werden die Störungen durch ein elektrisches Feld vermieden. Die Höhe der Spannung, mit der die Korrektur­elektrode 31 versorgt wird, ist weitgehend frei wählbar, sodass dieser Parameter noch zur Verfügung steht, um die Winkeldivergenz des im Reflektor 9 reflektierten Ionenstrahls auf die Detektorgeometrie anzupassen. Allerdings hat es sich u.a. dann, wenn die zuvor angegebenen Spannungen für die Blendenelektroden 35 B<sub>1</sub>, ... ,B<sub>11</sub> der Ringelektroden 29 verwendet werden, als vorteilhaft erwiesen, wenn die Korrektur­elektrode 31 auf einem Potential von -2,1 kV und damit zwischen -1 und -4 kV liegt. Bei einer derartigen Wahl des Potentials der Korrektur­elektrode 31 verbunden mit deren Abmessungen wird der Effekt erzielt, dass einerseits vermieden wird, dass sich das Feld der auf positivem Potential liegenden weiteren Ringelektroden 29 in den Bereich der Driftstrecken 53, 59 ausbreitet. Andererseits wird auch das elektrostatische Feld der weiteren Ringelektroden 29 nicht zu stark verändert, sodass die Geschwindigkeitsverteilung eines Ionenpakets aufgrund von Anfangsenergieverteilungen in der Ionenquelle 13 weiterhin im Reflektor 9 kompensiert werden kann.

**[0042]** Somit führt die Verwendung einer Korrektur­elektrode 31 zusammen mit der vor der Eintrittsöffnung 25 angeordneten Abschirmelektrode 41 zu erheblich geringeren Randfeldstörungen und damit zu einer verbesserten Massenauf­lösung im Vergleich zum Stand der Technik.

**[0043]** Dieser Abschirmeffekt wird durch die beiden grafischen Darstellungen in Fig. 4 und 5 deutlich, die das elektrostatische Potential in Volt entlang der Längsachse 21 als Funktion des Abstandes in Millimeter von der durch die Eintrittsöffnung 25 definierten Ebene darstellen, und zwar außerhalb des Reflektors 9 bzw. davor (Fig. 4) und im Inneren des Reflektors 9 (Fig. 5). Dabei wird durch die durchgezogenen Linien jeweils der Verlauf mit Abschirm- und Korrektur­elektrode 41, 31 dargestellt, während die gestrichelten Linien jeweils den Verlauf ohne die erfindungsgemäßen Zusatz­elektroden wiedergeben. Der Verlauf der durchgezogenen Linien ergibt sich, wenn an den Blendenelektroden 35 B<sub>1</sub>, ... ,B<sub>11</sub> der Ringelek-

troden 29 die bereits genannten Potentiale anliegen.

**[0044]** Aus diesen Darstellungen lässt sich erkennen, dass die elektrische Feldstärke im Bereich der Eintrittsöffnung selbst sowie außerhalb erheblich verringert ist, wobei daraufhin zu weisen ist, dass bei diesen Darstellungen eine logarithmische Skala verwendet worden ist.

**[0045]** Mit dem verringerten Einfluss des Feldes im Reflektor 9 auf die Driftstrecken 53, 59 ist eine Verbesserung der Massenauf­lösung verbunden, wie sich aus Fig. 6 ergibt. In dieser Darstellung ist die Massenauf­lösung als Funktion des Verhältnisses (m/z) von Masse (m) zu Ladung (z) der Ionen dargestellt, wobei dies einmal für den Fall mit Abschirm- und Korrektur­elektrode (durchgezogene Linie) und einmal ohne Verwendung dieser Elektroden (gestrichelte Linie) aufgetragen ist.

**[0046]** Aus diesen Darstellungen lässt sich somit erkennen, dass durch die erfindungsgemäße Elektrodenanordnung am Reflektor 9 eine erhebliche Verbesserung der Eigenschaften eines Flugzeitmassenspektrometers erreichbar ist, ohne dass dies mit einer Verschlechterung der Nachweiswahrscheinlichkeit im Detektor 55 verbunden ist.

## 25 Patentansprüche

1. Reflektor für ein Flugzeitmassenspektrometer zur Reflexion ionisierter Atome und/oder Moleküle mit einer Eintrittsöffnung (25) und mit einer sich entlang einer Längsachse (21) des Reflektors (9) von der Eintrittsöffnung (25) weg erstreckenden Anordnung aus hintereinander angeordneten Ringelektroden (31, 29) **dadurch gekennzeichnet, dass** die zur Eintrittsöffnung (25) nächste Ringelektrode (31) auf einem gegenüber den übrigen Ringelektroden (29) entgegengesetzten elektrischen Potential liegt, **dass** eine Abschirmelektrode (41) auf der von den Ringelektroden (31, 29) abgewandten Seite der Eintrittsöffnung (25) vorgesehen ist und **dass** die Abschirmelektrode (41) auf einem Potential, das von dem der Ringelektroden (31, 29) abweicht, vorzugsweise Erdpotential, liegt.
2. Reflektor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ringelektroden (31, 29) Blendenöffnungen (32', 32) haben und dass die Blendenöffnung (32') der zur Eintrittsöffnung (25) nächsten Ringelektrode (31) größer als die der übrigen Ringelektroden (29) ist.
3. Reflektor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abschirmelektrode (41) ringförmig mit einer Öffnung (42) ausgebildet ist und sich in einer Ebene erstreckt, die senkrecht zur Längsachse (21) des Reflektors (9) verläuft.

4. Reflektor nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Durchgangsöffnung (42) der Abschirmelektrode (41) kleiner oder gleich der Blendenöffnung (32') der Ringelektrode (31) ist, die der Eintrittsöffnung (25) am nächsten liegt. 5
5. Reflektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand zwischen der Abschirmelektrode (41) und der der Eintrittsöffnung (25) am nächsten gelegenen Ringelektrode (31) einstellbar ist. 10
6. Reflektor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Halter (27) vorgesehen ist, der die Eintrittsöffnung (25) umgibt, und dass die Abschirmelektrode (41) am Halter (27) angebracht ist. 15
7. Reflektor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Potential der der Eintrittsöffnung (25) nächsten Ringelektrode (31) zwischen -1 Kilovolt und -4 Kilovolt liegt. 20
8. Flugzeitmassenspektrometer mit einer Ionenquelle (13) zur Ionisierung von Atomen und/oder Molekülen, 25  
mit einer Elektrodeanordnung (14, 15) zur Beschleunigung ionisierter Atome und/oder Moleküle in eine erste Richtung (17) mit Hilfe elektrischer Felder, 30  
mit einem elektrostatischen Reflektor (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Reflexion der sich entlang der ersten Richtung (17) bewegenden ionisierten Atome und/oder Moleküle in eine zweite Richtung (57), 35  
wobei der Reflektor (9) derart angeordnet ist, dass die Längsachse (21) des Reflektors (9) die Winkelhalbierende zwischen der ersten und der zweiten Richtung (17, 57) bildet, und 40  
mit einem entlang der zweiten Richtung (57) angeordneten Detektor (55) zum Nachweis des Auftretens der ionisierten Atome und/oder Moleküle. 45

45

50

55

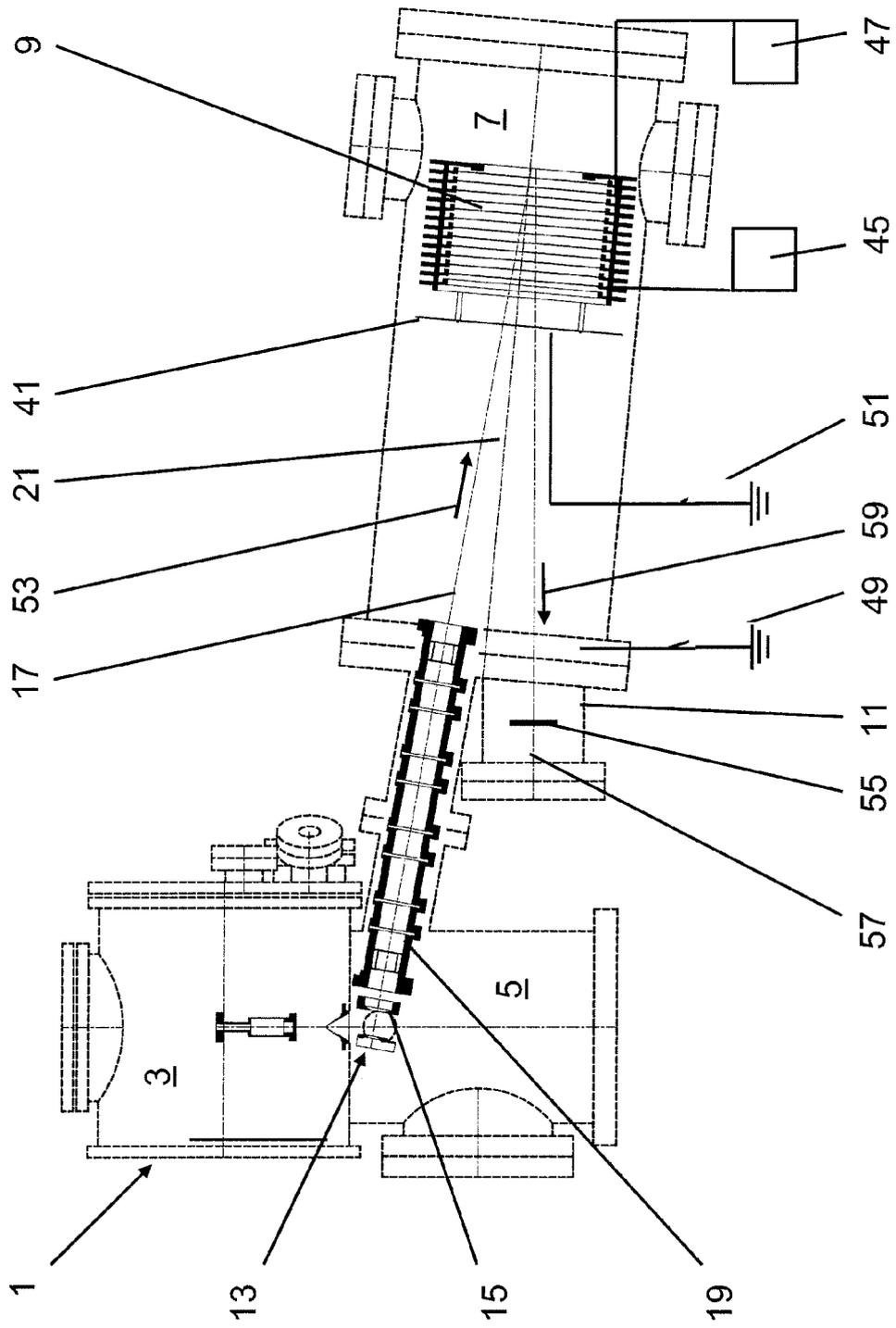


Fig. 1

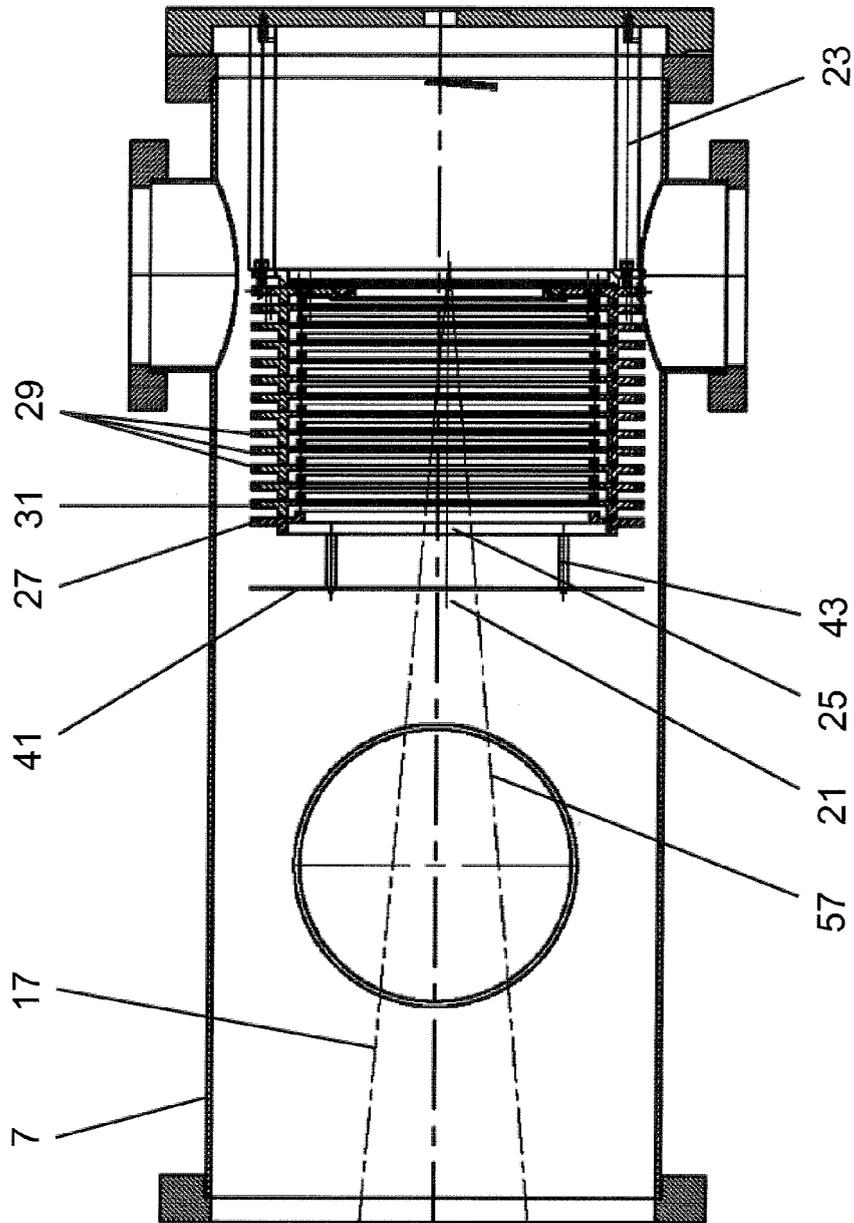


Fig. 2

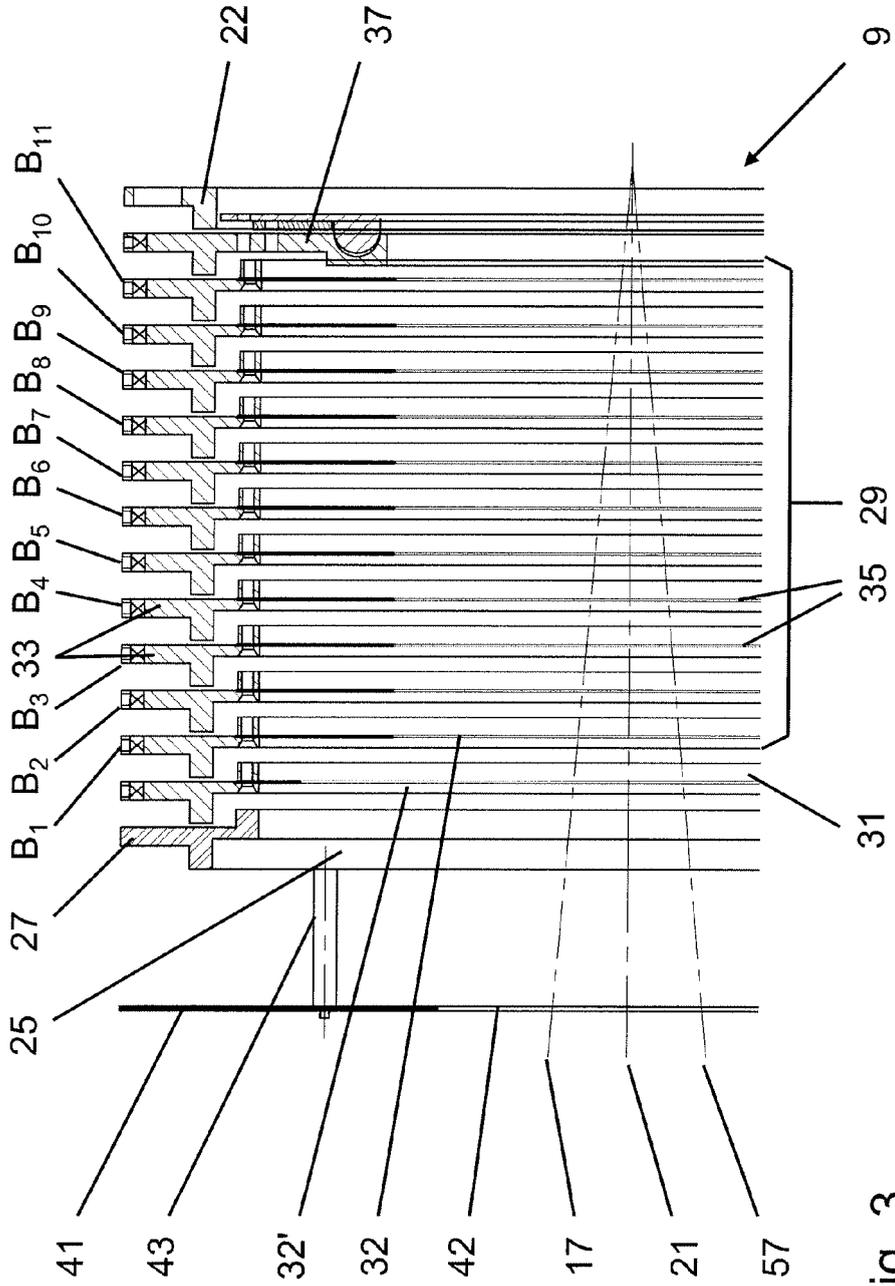


Fig. 3

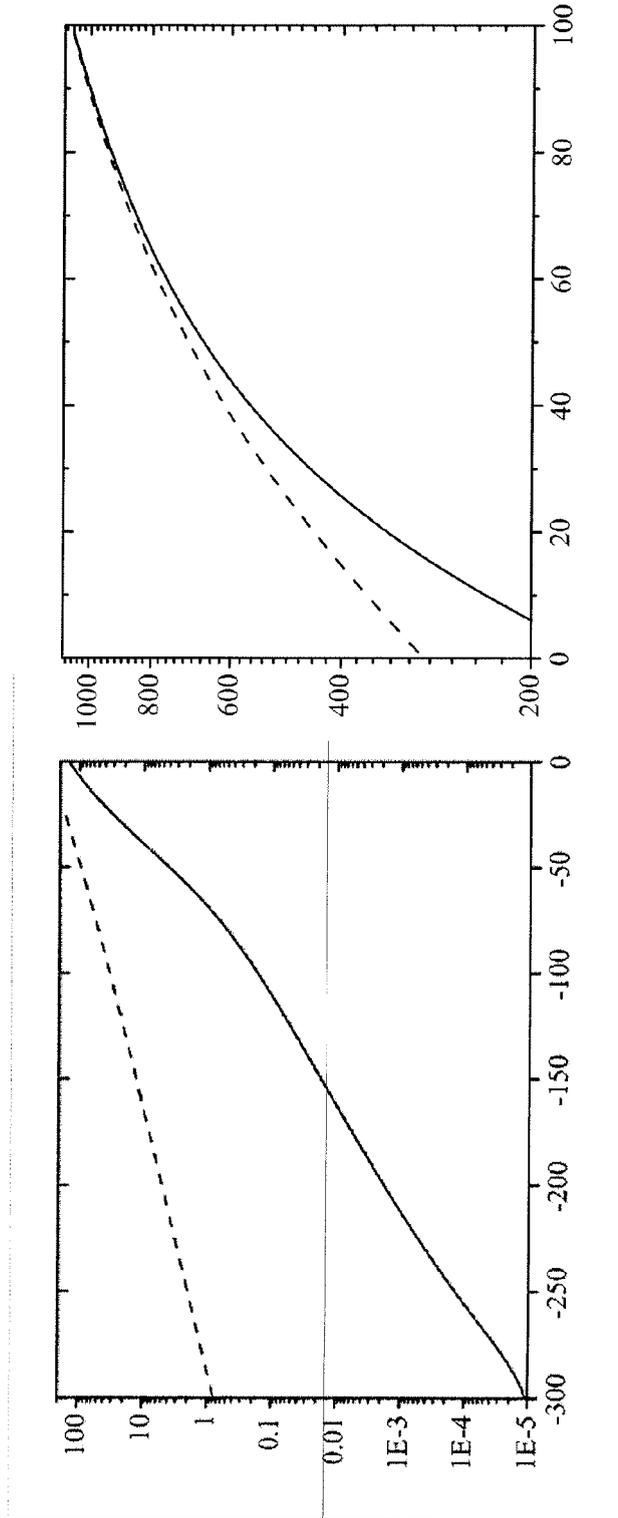


Fig. 4

Fig. 5

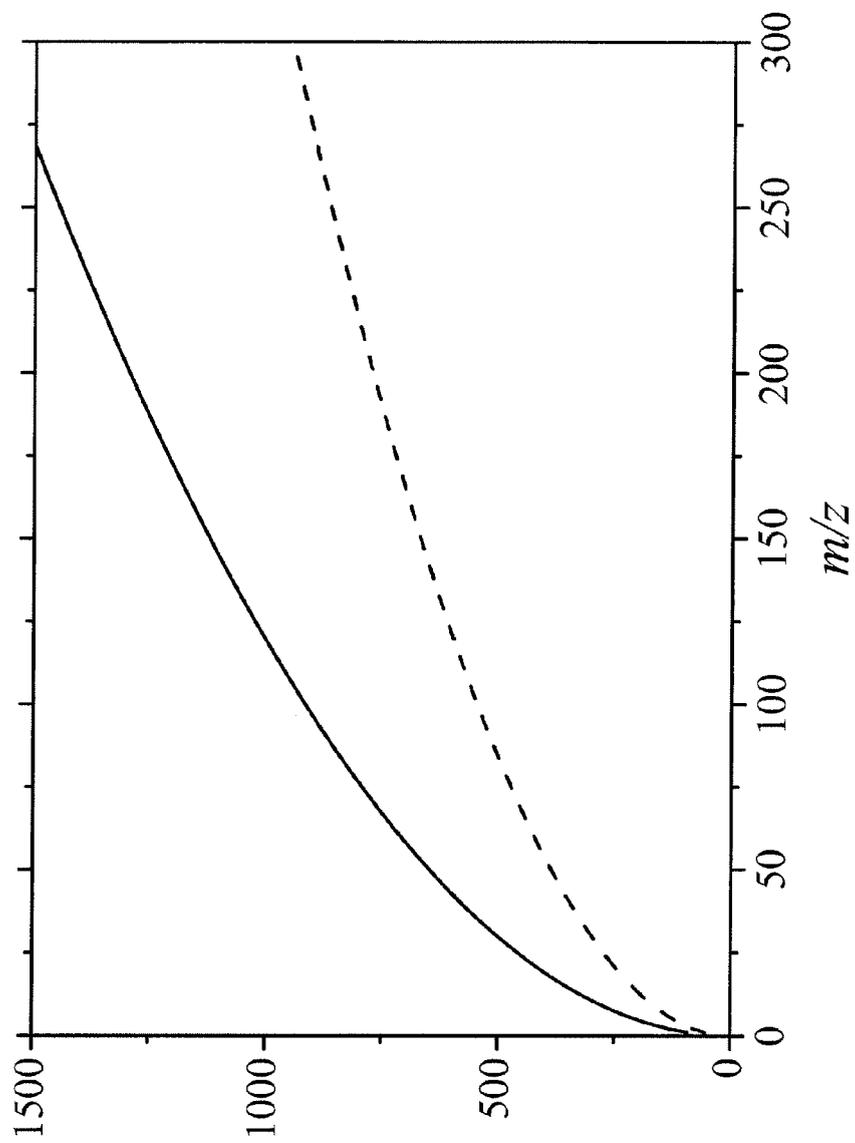


Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 10 15 2072

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 5 017 780 A (KUTSCHER ROLAND [DE] ET AL) 21. Mai 1991 (1991-05-21) * Spalte 4, Zeile 16 - Zeile 25 * * Abbildungen 4,5 * -----	1,3,4,6,8	INV. H01J49/40
X	WO 03/073086 A1 (UNIV CALIFORNIA [US]; VAN DER VEER WYTZE E [US]; APPEL MATTHEW F [US];) 4. September 2003 (2003-09-04) * Abbildungen 1,3 * -----	1,3,6,8	
A	GB 2 455 977 A (THERMO FISHER SCIENT [DE]) 1. Juli 2009 (2009-07-01) * Abbildung 4 * -----	1	
A	EP 0 373 550 A2 (FORSCHUNGSZENTRUM JUELICH GMBH [DE]) 20. Juni 1990 (1990-06-20) * Abbildung 2 * * Spalte 3, Zeile 48 - Zeile 56 * -----	1	
			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
			H01J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 29. Juni 2010	Prüfer Peters, Volker
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2  
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 10 15 2072

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

29-06-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5017780	A	21-05-1991	KEINE	
-----				
WO 03073086	A1	04-09-2003	AU 2003222212 A1	09-09-2003
-----				
GB 2455977	A	01-07-2009	WO 2009081143 A2	02-07-2009
-----				
EP 0373550	A2	20-06-1990	DE 3842044 A1	21-06-1990
			US 5065018 A	12-11-1991
-----				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 3524536 A1 [0006]