



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 103 50 664 B4 2008.10.23**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 50 664.0**  
 (22) Anmeldetag: **30.10.2003**  
 (43) Offenlegungstag: **09.09.2004**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **23.10.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01J 49/42 (2006.01)**  
**H01J 49/26 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**02260172      08.11.2002      GB**

(73) Patentinhaber:  
**Micromass UK Ltd., Manchester, GB**

(74) Vertreter:  
**Hössle Kudlek & Partner, Patentanwälte, 70173  
 Stuttgart**

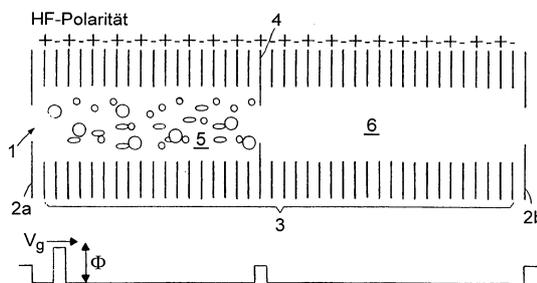
(72) Erfinder:  
**Bateman, Robert Harold, Cheshire, GB; Giles,  
 Kevin, Cheshire, GB; Hoyes, John Brian,  
 Cheshire, GB; Pringle, Steven, Darwen, GB;  
 Wildgoose, Jason Lee, Stockport, GB**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**EP 12 71 611 A2**  
**EP 08 71 201 A1**  
**EP 08 17 239 A1**  
**WO 97/07 530 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Trennung von Ionen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Trennung von Ionen aufgrund ihres Masse-Ladungs-Verhältnisses, das folgende Schritte aufweist:

- Empfangen von Ionen in einem Massenfilter (1), das mehrere Elektroden (3) aufweist, wobei eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden (3) angelegt wird, um die Ionen radial innerhalb des Massenfilters (1) einzuschließen,
- Anlegen einer oder mehrerer transientser Gleichspannungen oder Gleichspannungswellenformen, die in eine erste Richtung entlang des Massenfilters (1) laufen, an die Elektroden (3), so dass Ionen mit einem Masse-Ladungs-Verhältnis, das unterhalb eines bestimmten Wertes liegt, entlang eines ersten Bereiches (5) des Massenfilters (1) zu mindestens einer Elektrode bewegt werden, die ein erstes Potential aufweist, welches derart gewählt ist, dass wenigstens einige Ionen mit einem ersten und einem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis, die voneinander verschieden sind, durch das erste Potential in einen zweiten Bereich (6) des Massenfilters (1) hindurchlaufen, während andere Ionen, die ein drittes, verschiedenes Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisen, nicht durch das erste Potential hindurchlaufen, und dann...



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Trennung von Ionen aufgrund ihres Masse-Ladungs-Verhältnisses.

**[0002]** Hochfrequenz-(HF)-Ionenführungen werden gemeinhin zum Einschließen und Transportieren von Ionen verwendet. Herkömmliche HF-Ionenführungen verwenden eine Anordnung von Elektroden, wobei eine HF-Spannung an benachbarte Elektroden angelegt wird, so da eine radiale Pseudo-Potentialmulde oder ein radiales Pseudo-Potentialtal erzeugt wird, um Ionen innerhalb der Ionenführung radial einzuschließen. Herkömmliche HF-Ionenführungen weisen Quadrupol-, Hexapol- und Oktopol-Stabsätze auf. Es sind auch Iontunnel-Ionenführungen bekannt, welche eine Anzahl gestapelter Ringe oder Elektroden mit Öffnungen aufweisen, von denen Ionen durchgelassen werden, wobei entgegengesetzte Phasen einer HF-Spannungsversorgung an benachbarte Ringe angelegt werden.

**[0003]** Zusätzlich zu Ionenführungen an sich sind 2D- und 3D-Quadrupol-Ionenfallen und Quadrupol-Stabsatz-Massenfilter bekannt. Quadrupol-Stabsatz-Massenfilter weisen vier Stabelektroden auf, bei denen diametral entgegengesetzte Stäbe auf dem gleichen Wechsel- und Gleichspannungspotential gehalten werden. Es werden den angrenzenden oder benachbarten Stäben entgegengesetzte Phasen einer Wechselspannungsversorgung zugeführt. Eine Gleichspannungs-Potentialdifferenz wird zwischen benachbarten Stäben aufrechterhalten, wenn der Satz in einem Massenfilterungsmodus betrieben wird. Es wird dafür gesorgt, dass Ionen, die spezifische Masse-Ladungs-Verhältnisse aufweisen, mit im wesentlichen stabilen Flugbahnen durch das Quadrupol-Stabsatz-Massenfilter hindurchlaufen. Es wird jedoch dafür gesorgt, dass alle anderen Ionen im wesentlichen instabile Flugbahnen aufweisen, wenn sie durch das Quadrupol-Stabsatz-Massenfilter hindurchlaufen. Jene Ionen, die instabile Flugbahnen aufweisen, werden nicht radial innerhalb des Quadrupol-Massenfilters eingeschlossen, und es ist daher sehr wahrscheinlich, dass sie einen der Stäbe treffen und verlorengehen. Bei herkömmlichen Quadrupol-Stabsatz-Massenfiltern tritt daher das Problem auf, dass wenngleich sie spezifische Ionen mit normalerweise einem verhältnismäßig schmalen oder spezifischen Bereich von Masse-Ladungs-Verhältnissen mit einem hohen Transmissionsgrad durchlassen können, alle anderen Ionen verlorengehen. Weiterhin sind herkömmliche Quadrupol-Stabsatz-Massenfilter normalerweise auch relativ lang, was die Miniaturisierung von Massenspektrometern problematisch macht.

**[0004]** Aus der WO 94/01883 A1 sind ein Verfahren und Mittel zum Trennen von Ionen oder zur Bereitstellung eines Ionenstrahls bekannt. Hierbei werden Ionen des zu trennenden Isotops hergestellt, wobei anschließend ein wandernder elektrischer Potentialhügel mittels einer Folge von quasistatischen elektrischen Potentialhügeln bereitgestellt wird. Durch Regulieren der Geschwindigkeit und der Amplitude des wandernden elektrischen Potentialhügels werden ionisierte Isotope selektiv positiv oder negativ beschleunigt. Da die ionisierten Isotope unterschiedliche Endgeschwindigkeiten aufweisen, können die Isotope getrennt gesammelt werden, oder dazu verwendet werden, einen Ionenstrahl eines ausgewählten Isotops bereitzustellen.

**[0005]** Aus der nachveröffentlichten DE 103 28 599 A1 ist ein Massenspektrometer mit einem Ionenbeweglichkeitstrenner zum Trennen von Ionen nach ihrer Ionenbeweglichkeit bekannt. Der Ionenbeweglichkeitstrenner weist mehrere Elektroden auf, und eine oder mehrere Gleichspannungen oder eine oder mehrere Gleichspannungswellenformen werden an die Elektroden derart angelegt, dass Ionen mit einer bestimmten Ionenbeweglichkeit von anderen Ionen mit anderen Ionenbeweglichkeiten getrennt werden.

**[0006]** Erfindungsgemäß wird angestrebt, ein verbessertes Verfahren zum Trennen von Ionen bereitzustellen.

**[0007]** Dieses Ziel wird erreicht mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

**[0008]** Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0009]** Es ist auch erwünscht, ein verbessertes Massenfilter zur Verwendung in einem Massenspektrometer bereitzustellen.

**[0010]** Vorteilhaft wird zusammen mit der Erfindung eingesetzt ein Massenspektrometer mit einem Massenfilter zum Trennen von Ionen entsprechend ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis, wobei das Massenfilter wenigstens sieben Elektroden aufweist, wobei bei der Verwendung eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen innerhalb des Massenfilters radial einzuschließen, und wobei bei der Verwendung eine oder mehrere transiente Gleichspannungen oder eine oder mehrere transiente Gleich-

spannungs-Wellenformen fortschreitend an die Elektroden angelegt werden, so dass wenigstens einige Ionen mit einem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis von anderen Ionen mit einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis, welche im wesentlichen innerhalb des Massenfilters radial eingeschlossen bleiben, getrennt werden.

**[0011]** Herkömmliche Quadrupol-Stabsatz-Massenfilter/Analysatoren sollen nicht innerhalb des Schutzbereichs der vorliegenden Erfindung liegen. Insbesondere weisen herkömmliche Quadrupol-Stabsatz-Massenfilter/Analysatoren vier Elektroden auf, und Ionen, die nicht durch das Massenfilter hindurchlaufen, werden nicht innerhalb des Massenfilters/Analysators radial eingeschlossen, sondern gehen an den Elektroden verloren. Herkömmliche 2D- und 3D-Quadrupol-Ionenfallen sollen auch nicht innerhalb des Schutzbereichs der vorliegenden Erfindung liegen.

**[0012]** Ein Massenfilter gemäß der bevorzugten Ausführungsform ist verglichen mit einem herkömmlichen Quadrupol-Massenfilter in der Hinsicht besonders vorteilhaft, dass das bevorzugte Massenfilter vorzugsweise über einen breiten Bereich von Masse-Ladungs-Verhältnissen einen hohen Tastgrad aufweist und auch ermöglicht, dass Ionen mit einem flexiblen Zeitmaß ausgestoßen werden. Das bevorzugte Massenfilter kann auch mit Tastgraden von bis zu 100 arbeiten, weil es möglich ist, nur jene Ionen auszustoßen, die ein gewünschtes Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisen, während alle anderen Ionen vorzugsweise gespeichert, eingefangen oder auf andere Weise radial innerhalb des Massenfilters eingeschlossen bleiben, um eine nachfolgende Massenfilterung oder Massenanalyse auszuführen.

**[0013]** Die bevorzugte Ausführungsform weist vorzugsweise auch eine gefaltete Geometrie auf, so dass Ionen vor und zurück durch das Massenfilter gesendet werden können, so dass ein verhältnismäßig kompaktes Massenfilter bereitgestellt wird. Diese Anordnung erleichtert auch Bandpass-Betriebsmodi.

**[0014]** Das bevorzugte Massenfilter weist auch eine höhere Empfindlichkeit als herkömmliche Quadrupol-Massenfilter auf.

**[0015]** Gemäß einer Ausführungsform wird entlang dem Massenfilter vorzugsweise ein, sich wiederholendes Muster elektrischer Gleichspannungspotentiale überlagert, so dass eine periodische Gleichspannungs-Wellenform bereitgestellt wird. Die Gleichspannungs-Wellenform kann veranlasst werden, in die Richtung entlang dem Massenfilter, in die die Ionen bewegt werden müssen, und bei einer Geschwindigkeit, bei der die Ionen bewegt werden müssen, zu laufen.

**[0016]** Das Massenfilter kann eine Wechselladungs- oder HF-Ionenführung, wie vorzugsweise einen gestapelten Ringsatz (oder eine Ionentunnel-Ionenführung) oder weniger bevorzugt einen segmentierten Mehrpol-Stabsatz, aufweisen. Das bevorzugte Massenfilter ist vorzugsweise in Achsenrichtung segmentiert, so dass unabhängige transiente Gleichspannungspotentiale an jedes Segment angelegt werden können. Die transienten Gleichspannungspotentiale werden vorzugsweise einer Wechsel- oder HF-Spannung (die das radiale Einschließen von Ionen bewirkt) und/oder einer konstanten Offset-Gleichspannung überlagert. Das transiente Gleichspannungspotential oder die transiente Gleichspannungs-Wellenform erzeugt ein Gleichspannungspotential oder eine Gleichspannungs-Wellenform, die so angesehen werden kann, dass sie sich effektiv in Achsenrichtung entlang dem Massenfilter bewegt.

**[0017]** Zu jedem Zeitpunkt wird vorzugsweise zwischen den Segmenten ein axialer Spannungsgradient erzeugt, der bewirkt, dass Ionen in eine bestimmte Richtung geschoben oder gezogen werden. Wenn sich die Ionen in die erforderliche Richtung bewegen, bewegt sich der Spannungsgradient in ähnlicher Weise, wenn das transiente Gleichspannungspotential (die transienten Gleichspannungspotentiale) fortschreitend an aufeinanderfolgende Elektroden angelegt oder auf diese geschaltet wird (werden). Die einzelnen Gleichspannungen an jedem der Segmente werden vorzugsweise so programmiert, dass sie eine erforderliche Gleichspannungs-Wellenform erzeugen. Die einzelnen Gleichspannungen an jedem der Segmente können auch so programmiert werden, dass sie sich synchron ändern, so daß eine Gleichspannungspotential-Wellenform aufrechterhalten wird, jedoch in die Richtung verschoben wird, in die die Ionen bewegt werden müssen.

**[0018]** Das Massenfilter wird bei der Verwendung vorzugsweise auf einem Druck gehalten, der aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: (i) größer oder gleich  $1 \times 10^{-7}$  mbar, (ii) größer oder gleich  $5 \times 10^{-7}$  mbar, (iii) größer oder gleich  $1 \times 10^{-6}$  mbar, (iv) größer oder gleich  $5 \times 10^{-6}$  mbar, (v) größer oder gleich  $1 \times 10^{-5}$  mbar und (vi) größer oder gleich  $5 \times 10^{-5}$  mbar. Das Massenfilter wird bei der Verwendung vorzugsweise auf einem Druck gehalten, der aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: (i) kleiner oder gleich  $1 \times 10^{-4}$  mbar, (ii) kleiner oder gleich  $5 \times 10^{-5}$  mbar, (iii) kleiner oder gleich  $1 \times 10^{-5}$  mbar, (iv) kleiner oder gleich  $5 \times 10^{-6}$  mbar, (v) kleiner

oder gleich  $1 \times 10^{-6}$  mbar, (vi) kleiner oder gleich  $5 \times 10^{-7}$  mbar und (vii) kleiner oder gleich  $1 \times 10^{-7}$  mbar. Das Massenfilter wird bei der Verwendung vorzugsweise auf einem Druck gehalten, der aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: (i) zwischen  $1 \times 10^{-7}$  und  $1 \times 10^{-4}$  mbar, (ii) zwischen  $1 \times 10^{-7}$  und  $5 \times 10^{-5}$  mbar, (iii) zwischen  $1 \times 10^{-7}$  und  $1 \times 10^{-5}$  mbar, (iv) zwischen  $1 \times 10^{-7}$  und  $5 \times 10^{-6}$  mbar, (v) zwischen  $1 \times 10^{-7}$  und  $1 \times 10^{-6}$  mbar, (vi) zwischen  $1 \times 10^{-7}$  und  $5 \times 10^{-7}$  mbar, (vii) zwischen  $5 \times 10^{-7}$  und  $1 \times 10^{-4}$  mbar, (viii) zwischen  $5 \times 10^{-7}$  und  $5 \times 10^{-5}$  mbar, (ix) zwischen  $5 \times 10^{-7}$  und  $1 \times 10^{-5}$  mbar, (x) zwischen  $5 \times 10^{-7}$  und  $5 \times 10^{-6}$  mbar, (xi) zwischen  $5 \times 10^{-7}$  und  $1 \times 10^{-6}$  mbar, (xii) zwischen  $1 \times 10^{-6}$  und  $1 \times 10^{-4}$  mbar, (xiii) zwischen  $1 \times 10^{-6}$  und  $5 \times 10^{-5}$  mbar, (xiv) zwischen  $1 \times 10^{-6}$  und  $1 \times 10^{-5}$  mbar, (xv) zwischen  $1 \times 10^{-6}$  und  $5 \times 10^{-6}$  mbar, (xvi) zwischen  $5 \times 10^{-6}$  und  $1 \times 10^{-4}$  mbar, (xvii) zwischen  $5 \times 10^{-6}$  und  $5 \times 10^{-5}$  mbar, (xviii) zwischen  $5 \times 10^{-6}$  und  $1 \times 10^{-5}$  mbar, (xix) zwischen  $1 \times 10^{-5}$  und  $1 \times 10^{-4}$  mbar, (xx) zwischen  $1 \times 10^{-5}$  und  $5 \times 10^{-5}$  mbar und (xxi) zwischen  $5 \times 10^{-5}$  und  $1 \times 10^{-4}$  mbar.

**[0019]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen sind vorzugsweise derart, daß wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das erste Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen durch die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen in erheblichem Maße entlang dem Massenfilter bewegt werden, wenn die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen fortschreitend an die Elektroden angelegt werden.

**[0020]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen sind vorzugsweise derart, daß wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen durch die angelegte Gleichspannung in geringerem Maße als die das erste Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen entlang dem Massenfilter bewegt werden, wenn die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen fortschreitend an die Elektroden angelegt werden.

**[0021]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das erste Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen mit einer höheren Geschwindigkeit entlang dem Massenfilter bewegt werden als die das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen.

**[0022]** Bevorzugt wird zusammen mit der vorliegenden Erfindung ein Massenspektrometer eingesetzt, welches aufweist:

ein Massenfilter zum Trennen von Ionen entsprechend ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis, wobei das Massenfilter wenigstens sieben Elektroden aufweist, wobei bei der Verwendung eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen innerhalb des Massenfilters radial einzuschließen, und wobei bei der Verwendung eine oder mehrere transiente Gleichspannungen oder eine oder mehrere transiente Gleichspannungs-Wellenformen fortschreitend an die Elektroden angelegt werden, so dass Ionen zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein solches Potential aufweist, dass wenigstens einige Ionen mit einem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis durch das Potential laufen, während andere Ionen mit einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das Potential laufen, sondern im wesentlichen innerhalb des Massenfilters radial eingeschlossen bleiben.

**[0023]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen sind vorzugsweise derart, daß wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das erste Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen durch das Potential laufen. Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen sind vorzugsweise derart, daß wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen nicht durch das Potential laufen. An die wenigstens eine Elektrode wird vorzugsweise eine solche Spannung angelegt, dass ein Potentialhügel oder ein Potentialtal bereitgestellt wird.

**[0024]** Einige Ionen sind in der Lage, den Potentialhügel oder das Potentialtal zu durchlaufen oder zu durchqueren, während andere Ionen im wesentlichen daran gehindert werden, den Potentialhügel oder das Potentialtal zu durchlaufen oder zu durchqueren.

**[0025]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten

ten Gleichspannungs-Wellenformen sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das erste Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen erheblich vor das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen aus dem Massenfilter austreten. Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen erheblich nach das erste Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen aus dem Massenfilter austreten.

**[0026]** Eine Mehrzahl der das erste Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen tritt vorzugsweise eine Zeit  $t$  vor einer Mehrzahl der das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen aus dem Massenfilter aus, wobei  $t$  innerhalb eines Bereichs liegt, der aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: (i)  $< 1 \mu\text{s}$ , (ii)  $1\text{--}10 \mu\text{s}$ , (iii)  $10\text{--}50 \mu\text{s}$ , (iv)  $50\text{--}100 \mu\text{s}$ , (v)  $100\text{--}200 \mu\text{s}$ , (vi)  $200\text{--}300 \mu\text{s}$ , (vii)  $300\text{--}400 \mu\text{s}$ , (viii)  $400\text{--}500 \mu\text{s}$ , (ix)  $500\text{--}600 \mu\text{s}$ , (x)  $600\text{--}700 \mu\text{s}$ , (xi)  $700\text{--}800 \mu\text{s}$ , (xii)  $800\text{--}900 \mu\text{s}$ , (xiii)  $900\text{--}1000 \mu\text{s}$ .

**[0027]** Gemäß einer anderen Ausführungsform liegt  $t$  innerhalb eines Bereichs, der aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: (i)  $1,0\text{--}1,5 \text{ ms}$ , (ii)  $1,5\text{--}2,0 \text{ ms}$ , (iii)  $2,0\text{--}2,5 \text{ ms}$ , (iv)  $2,5\text{--}3,0 \text{ ms}$ , (v)  $3,0\text{--}3,5 \text{ ms}$ , (vi)  $3,5\text{--}4,0 \text{ ms}$ , (vii)  $4,0\text{--}4,5 \text{ ms}$ , (viii)  $4,5\text{--}5,0 \text{ ms}$ , (ix)  $5\text{--}10 \text{ ms}$ , (x)  $10\text{--}15 \text{ ms}$ , (xi)  $15\text{--}20 \text{ ms}$ , (xii)  $20\text{--}25 \text{ ms}$ , (xiii)  $25\text{--}30 \text{ ms}$ , (xiv)  $30\text{--}35 \text{ ms}$ , (xv)  $35\text{--}40 \text{ ms}$ , (xvi)  $40\text{--}45 \text{ ms}$ , (xvii)  $45\text{--}50 \text{ ms}$ , (xviii)  $50\text{--}55 \text{ ms}$ , (xix)  $55\text{--}60 \text{ ms}$ , (xx)  $60\text{--}65 \text{ ms}$ , (xxi)  $65\text{--}70 \text{ ms}$ , (xxii)  $70\text{--}75 \text{ ms}$ , (xxiii)  $75\text{--}80 \text{ ms}$ , (xxiv)  $80\text{--}85 \text{ ms}$ , (xxv)  $85\text{--}90 \text{ ms}$ , (xxvi)  $90\text{--}95 \text{ ms}$ , (xxvii)  $95\text{--}100 \text{ ms}$  und (xxviii)  $> 100 \text{ ms}$ .

**[0028]** Bevorzugt wird zusammen mit der vorliegenden Erfindung ein Massenspektrometer eingesetzt, welches aufweist: ein Massenfilter zum Trennen von Ionen entsprechend ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis, wobei das Massenfilter eine Anzahl von Elektroden aufweist, wobei bei der Verwendung eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen innerhalb, des Massenfilters radial einzuschließen, und wobei bei der Verwendung eine oder mehrere transiente Gleichspannungen oder eine oder mehrere transiente Gleichspannungs-Wellenformen fortschreitend an die Elektroden angelegt werden, so dass:

- (i) Ionen zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein erstes Potential aufweist, so dass wenigstens einige Ionen mit einem ersten und einem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis, die voneinander verschieden sind, durch das erste Potential laufen, während andere Ionen mit einem dritten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das erste Potential laufen, und dann
- (ii) Ionen mit dem ersten und dem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein zweites Potential aufweist, so dass wenigstens einige Ionen mit dem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis durch das zweite Potential laufen, während andere Ionen mit dem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das zweite Potential laufen.

**[0029]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen und das erste Potential sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das erste Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen durch das erste Potential laufen. Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen und das erste Potential sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen durch das erste Potential laufen. Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen und das erste Potential sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das dritte Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen nicht durch das erste Potential laufen.

**[0030]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen und das zweite Potential sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das erste Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen durch das zweite Potential laufen. Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen und das zweite Potential sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen nicht durch das zweite Potential laufen.

**[0031]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen erheblich vor

das erste und das dritte Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen aus dem Massenfilter austreten. Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen sind vorzugsweise derart, dass wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das erste und das dritte Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen erheblich nach das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen aus dem Massenfilter austreten.

**[0032]** Eine Mehrzahl der das zweite Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisenden Ionen tritt vorzugsweise eine Zeit  $t$  vor einer Mehrzahl der die erste und die dritte Ionenbeweglichkeit aufweisenden Ionen aus dem Massenfilter aus, wobei  $t$  innerhalb eines Bereichs liegt, der aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: (i)  $< 1 \mu\text{s}$ , (ii)  $1\text{--}10 \mu\text{s}$ , (iii)  $10\text{--}50 \mu\text{s}$ , (iv)  $50\text{--}100 \mu\text{s}$ , (v)  $100\text{--}200 \mu\text{s}$ , (vi)  $200\text{--}300 \mu\text{s}$ , (vii)  $300\text{--}400 \mu\text{s}$ , (viii)  $400\text{--}500 \mu\text{s}$ , (ix)  $500\text{--}600 \mu\text{s}$ , (x)  $600\text{--}700 \mu\text{s}$ , (xi)  $700\text{--}800 \mu\text{s}$ , (xii)  $800\text{--}900 \mu\text{s}$ , (xiii)  $900\text{--}1000 \mu\text{s}$ .

**[0033]** Gemäß einer anderen Ausführungsform liegt  $t$  innerhalb eines Bereichs, der aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: (i)  $1,0\text{--}1,5 \text{ ms}$ , (ii)  $1,5\text{--}2,0 \text{ ms}$ , (iii)  $2,0\text{--}2,5 \text{ ms}$ , (iv)  $2,5\text{--}3,0 \text{ ms}$ , (v)  $3,0\text{--}3,5 \text{ ms}$ , (vi)  $3,5\text{--}4,0 \text{ ms}$ , (vii)  $4,0\text{--}4,5 \text{ ms}$ , (viii)  $4,5\text{--}5,0 \text{ ms}$ , (ix)  $5\text{--}10 \text{ ms}$ , (x)  $10\text{--}15 \text{ ms}$ , (xi)  $15\text{--}20 \text{ ms}$ , (xii)  $20\text{--}25 \text{ ms}$ , (xiii)  $25\text{--}30 \text{ ms}$ , (xiv)  $30\text{--}35 \text{ ms}$ , (xv)  $35\text{--}40 \text{ ms}$ , (xvi)  $40\text{--}45 \text{ ms}$ , (xvii)  $45\text{--}50 \text{ ms}$ , (xviii)  $50\text{--}55 \text{ ms}$ , (xix)  $55\text{--}60 \text{ ms}$ , (xx)  $60\text{--}65 \text{ ms}$ , (xxi)  $65\text{--}70 \text{ ms}$ , (xxii)  $70\text{--}75 \text{ ms}$ , (xxiii)  $75\text{--}80 \text{ ms}$ , (xxiv)  $80\text{--}85 \text{ ms}$ , (xxv)  $85\text{--}90 \text{ ms}$ , (xxvi)  $90\text{--}95 \text{ ms}$ , (xxviii)  $95\text{--}100 \text{ ms}$  und (xxviii)  $> 100 \text{ ms}$ .

**[0034]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen können erzeugen: (i) einen Potentialhügel oder Potentialwall, (ii) eine Potentialmulde, (iii) eine Kombination aus einem Potentialhügel oder einem Potentialwall und einer Potentialmulde, (iv) mehrere Potentialhügel oder Potentialwälle, (v) mehrere Potentialmulden, (vi) eine Kombination aus mehreren Potentialhügeln oder Potentialwällen und mehreren Potentialmulden.

**[0035]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen schließen vorzugsweise eine sich wiederholende Wellenform in der Art einer Rechteckwelle ein.

**[0036]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen erzeugen vorzugsweise eine Anzahl von Potentialspitzen oder -mulden, die durch Zwischenbereiche getrennt sind. Der Gleichspannungsgradient in den Zwischenbereichen kann null sein oder von Null verschieden sein und entweder positiv oder negativ sein. Der Gleichspannungsgradient in den Zwischenbereichen kann linear oder nichtlinear sein. Beispielsweise kann der Gleichspannungsgradient in den Zwischenbereichen exponentiell zunehmen oder abnehmen.

**[0037]** Die Amplitude der Potentialspitzen oder -mulden kann im wesentlichen konstant bleiben; oder die Amplitude der Potentialspitzen oder -mulden kann fortschreitend größer oder kleiner werden. Die Amplitude der Potentialspitzen oder -mulden kann linear oder nichtlinear zunehmen oder abnehmen.

**[0038]** Bei der Verwendung kann ein axialer Gleichspannungsgradient entlang wenigstens einem Abschnitt der Länge des Massenfilters aufrechterhalten werden, wobei sich der axiale Spannungsgradient zeitlich ändert.

**[0039]** Das Massenfilter kann eine auf einem ersten Referenzpotential gehaltene erste Elektrode, eine auf einem zweiten Referenzpotential gehaltene zweite Elektrode und eine auf einem dritten Referenzpotential gehaltene dritte Elektrode aufweisen, wobei: zu einer ersten Zeit  $t_1$  eine erste Gleichspannung an die erste Elektrode angelegt wird, so dass die erste Elektrode auf einem ersten Potential oberhalb oder unterhalb des ersten Referenzpotentials gehalten wird, zu einer zweiten späteren Zeit  $t_2$  eine zweite Gleichspannung an die zweite Elektrode angelegt wird, so dass die zweite Elektrode auf einem zweiten Potential oberhalb oder unterhalb des zweiten Referenzpotentials gehalten wird, und zu einer dritten späteren Zeit  $t_3$  eine dritte Gleichspannung an die dritte Elektrode angelegt wird, so dass die dritte Elektrode auf einem dritten Potential oberhalb oder unterhalb des dritten Referenzpotentials gehalten wird.

**[0040]** Vorzugsweise liegt zu der ersten Zeit  $t_1$  die zweite Elektrode auf dem zweiten Referenzpotential und die dritte Elektrode auf dem dritten Referenzpotential, zu der zweiten Zeit  $t_2$  die erste Elektrode auf dem ersten Potential und die dritte Elektrode auf dem dritten Referenzpotential, und zu der dritten Zeit  $t_3$  die erste Elektrode auf dem ersten Potential und die zweite Elektrode auf dem zweiten Potential.

**[0041]** Alternativ liegt zu der ersten Zeit  $t_1$  die zweite Elektrode auf dem zweiten Referenzpotential und die dritte Elektrode auf dem dritten Referenzpotential, wird zu der zweiten Zeit  $t_2$  an die erste Elektrode nicht mehr die erste Gleichspannung angelegt, so dass die erste Elektrode auf das erste Referenzpotential zurückgeführt

wird und sich die dritte Elektrode auf dem dritten Referenzpotential befindet, und liegt zu der dritten Zeit  $t_3$  die erste Elektrode auf dem ersten Referenzpotential und wird an die zweite Elektrode nicht mehr die zweite Gleichspannung angelegt, so dass die zweite Elektrode auf das zweite Referenzpotential zurückgeführt wird.

**[0042]** Das erste, das zweite und das dritte Referenzpotential sind vorzugsweise im wesentlichen gleich. Vorzugsweise sind die erste, die zweite und die dritte Gleichspannung im wesentlichen gleich. Vorzugsweise sind das erste, das zweite und das dritte Potential im wesentlichen gleich.

**[0043]** Das Massenfilter kann 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 oder > 30 Segmente aufweisen, wobei jedes Segment 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 oder > 30 Elektroden aufweist und wobei die Elektroden in einem Segment auf im wesentlichen dem gleichen Gleichspannungspotential gehalten werden. Vorzugsweise werden mehrere Segmente auf im wesentlichen dem gleichen Gleichspannungspotential gehalten. Vorzugsweise wird jedes Segment auf im wesentlichen dem gleichen Gleichspannungspotential wie das nachfolgende n-te Segment gehalten, wobei n 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 oder > 30 ist.

**[0044]** Ionen werden innerhalb des Massenfilters durch ein elektrisches Wechsel- oder HF-Feld radial eingeschlossen. Ionen werden innerhalb des Massenfilters vorzugsweise in einer Pseudo-Potentialmulde radial eingeschlossen und axial durch einen realen Potentialwall oder eine reale Potentialmulde bewegt.

**[0045]** Bei der Verwendung können eine oder mehrere zusätzliche Wechsel- oder HF-Spannungswellenformen an wenigstens einige der Elektroden angelegt werden, so da Ionen entlang wenigstens einem Abschnitt der Länge des Massenfilters gedrängt werden. Diese Wechsel- oder HF-Spannungswellenformen kommen zu den Wechsel- oder HF-Spannungen hinzu, welche Ionen innerhalb des Massenfilters radial einschließen.

**[0046]** Die Durchflugzeit der Ionen durch das Massenfilter ist vorzugsweise aus der folgenden Gruppe ausgewählt: (i) kleiner oder gleich 20 ms, (ii) kleiner oder gleich 10 ms, (iii) kleiner oder gleich 5 ms, (iv) kleiner oder gleich 1 ms und (v) kleiner oder gleich 0,5 ms.

**[0047]** Das Massenfilter wird vorzugsweise auf einem solchen Druck gehalten, daß auf die durch das Massenfilter hindurchlaufenden Ionen im wesentlichen kein viskoser Widerstand ausgeübt wird. Die mittlere freie Weglänge der durch das Massenfilter hindurchlaufenden Ionen ist daher vorzugsweise größer, und vorzugsweise erheblich größer, als die Länge des Massenfilters.

**[0048]** Bei der Verwendung werden die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen vorzugsweise zunächst an einer ersten axialen Position und dann nachfolgend an einer zweiten und dann an einer dritten verschiedenen axialen Position entlang dem Massenfilter bereitgestellt.

**[0049]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen bewegen sich vorzugsweise von einem Ende des Massenfilters zu einem anderen Ende des Massenfilters, so dass wenigstens einige Ionen entlang dem Massenfilter gedrängt werden.

**[0050]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen weisen vorzugsweise wenigstens 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 oder 10 verschiedene Amplituden auf.

**[0051]** Die Amplitude der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen kann zeitlich im wesentlichen konstant bleiben, oder die Amplitude der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen kann sich zeitlich ändern. Beispielsweise kann die Amplitude der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen (i) zeitlich zunehmen, (ii) zeitlich zunehmen und dann abnehmen, (iii) zeitlich abnehmen oder (iv) zeitlich abnehmen und dann zunehmen.

**[0052]** Das Massenfilter kann einen stromaufwärts gelegenen Eingangsbereich, einen stromabwärts gelegenen Ausgangsbereich und einen Zwischenbereich aufweisen, wobei: in dem Eingangsbereich die Amplitude der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen einen ersten Wert aufweist, in dem Zwischenbereich die Amplitude der einen

oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen einen zweiten Wert aufweist und in dem Ausgangsbereich die Amplitude der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen einen dritten Wert aufweist.

**[0053]** Der Eingangsbereich und/oder der Ausgangsbereich umfassen vorzugsweise einen Anteil der gesamten Achsenlänge des Massenfilters, der aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: (i) < 5%, (ii) 5–10%, (iii) 10–15%, (iv) 15–20%, (v) 20–25%, (vi) 25–30%, (vii) 30–35%, (viii) 35–40% und (ix) 40–45%.

**[0054]** Die erste und/oder die dritte Amplitude können im wesentlichen null sein, und die zweite Amplitude kann im wesentlichen von Null verschieden sein. Vorzugsweise ist die zweite Amplitude größer als die erste Amplitude und/oder die zweite Amplitude größer als die dritte Amplitude.

**[0055]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen laufen vorzugsweise bei der Verwendung mit einer ersten Geschwindigkeit entlang dem Massenfiter, wobei die erste Geschwindigkeit (i) im wesentlichen konstant bleibt, (ii) sich ändert, (iii) zunimmt, (iv) zunimmt und dann abnimmt, (v) abnimmt, (vi) abnimmt und dann zunimmt, (vii) im wesentlichen auf Null verringert wird, (viii) die Richtung umkehrt oder (ix) im wesentlichen auf Null verringert wird und dann die Richtung umkehrt.

**[0056]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen bewirken vorzugsweise, dass wenigstens einige Ionen innerhalb des Massenfilters mit einer zweiten verschiedenen Geschwindigkeit entlang dem Massenfiter laufen. Vorzugsweise bewirken die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen, dass wenigstens einige Ionen innerhalb des Massenfilters mit einer dritten verschiedenen Geschwindigkeit entlang dem Massenfiter laufen. Vorzugsweise bewirken die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen, dass wenigstens einige Ionen innerhalb des Massenfilters mit einer vierten verschiedenen Geschwindigkeit entlang dem Massenfiter laufen. Vorzugsweise bewirken die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen, dass wenigstens einige Ionen innerhalb des Massenfilters mit einer fünften verschiedenen Geschwindigkeit entlang dem Massenfiter laufen.

**[0057]** Die zweite und/oder die dritte und/oder die vierte und/oder die fünfte Geschwindigkeit sind vorzugsweise wenigstens 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 oder 100 m/s höher oder geringer als die erste Geschwindigkeit.

**[0058]** Die erste Geschwindigkeit ist vorzugsweise aus der folgenden Gruppe ausgewählt: (i) 10–250 m/s, (ii) 250–500 m/s, (iii) 500–750 m/s, (iv) 750–1000 m/s, (v) 1000–1250 m/s, (vi) 1250–1500 m/s, (vii) 1500–1750 m/s, (viii) 1750–2000 m/s, (ix) 2000–2250 m/s, (x) 2250–2500 m/s, (xi) 2500–2750 m/s, (xii) 2750–3000 m/s, (xiii) 3000–3250 m/s, (xiv) 3250–3500 m/s, (xv) 3500–3750 m/s, (xvi) 3750–4000 m/s, (xvii) 4000–4250 m/s, (xviii) 4250–4500 m/s, (xix) 4500–4750 m/s, (xx) 4750–5000 m/s, (xxi) 5000–5250 m/s, (xxii) 5250–5500 m/s, (xxiii) 5500–5750 m/s, (xxiv) 5750–6000 m/s und (xxv) > 6000 m/s. Gemäß einer weniger bevorzugten Ausführungsform kann die erste Geschwindigkeit < 10 m/s sein.

**[0059]** Die zweite und/oder die dritte und/oder die vierte und/oder die fünfte verschiedene Geschwindigkeit sind vorzugsweise aus der folgenden Gruppe ausgewählt: (i) 10–250 m/s, (ii) 250–500 m/s, (iii) 500–750 m/s, (iv) 750–1000 m/s, (v) 1000–1250 m/s, (vi) 1250–1500 m/s, (vii) 1500–1750 m/s, (viii) 1750–2000 m/s, (ix) 2000–2250 m/s, (x) 2250–2500 m/s, (xi) 2500–2750 m/s, (xii) 2750–3000 m/s, (xiii) 3000–3250 m/s, (xiv) 3250–3500 m/s, (xv) 3500–3750 m/s, (xvi) 3750–4000 m/s, (xvii) 4000–4250 m/s, (xviii) 4250–4500 m/s, (xix) 4500–4750 m/s, (xx) 4750–5000 m/s, (xxi) 5000–5250 m/s, (xxii) 5250–5500 m/s, (xxiii) 5500–5750 m/s, (xxiv) 5750–6000 m/s und (xxv) > 6000 m/s. Gemäß einer weniger bevorzugten Ausführungsform kann die zweite und/oder die dritte und/oder die vierte und/oder die fünfte Geschwindigkeit < 10 m/s sein.

**[0060]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen haben vorzugsweise eine Frequenz, wobei die Frequenz (i) im wesentlichen konstant bleibt, (ii) sich ändert, (iii) zunimmt, (iv) zunimmt und dann abnimmt, (v) abnimmt oder (vi) abnimmt und dann zunimmt.

**[0061]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten

ten Gleichspannungs-Wellenformen haben vorzugsweise eine Wellenlänge, wobei die Wellenlänge: (i) im wesentlichen konstant bleibt, (ii) sich ändert, (iii) zunimmt, (iv) zunimmt und dann abnimmt, (v) abnimmt oder (vi) abnimmt und dann zunimmt.

**[0062]** Zwei oder mehr transiente Gleichspannungen oder zwei oder mehr transiente Gleichspannungs-Wellenformen können gleichzeitig entlang dem Massenfilter laufen. Die zwei oder mehr transienten Gleichspannungen oder die zwei oder mehr transienten Gleichspannungs-Wellenformen können so eingerichtet werden, daß sie sich (i) in der gleichen Richtung bewegen, (ii) sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen, (iii) sich aufeinander zu bewegen oder (iv) sich voneinander fort bewegen.

**[0063]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen können entlang dem Massenfilter laufen, und es wird an einer Position entlang dem Massenfilter vorzugsweise wenigstens ein im wesentlichen stationäres transientes Gleichspannungspotential oder wenigstens eine im wesentlichen stationäre transiente Spannungswellenform bereitgestellt.

**[0064]** Die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen werden vorzugsweise wiederholt erzeugt und bei der Verwendung entlang dem Massenfilter geführt, wobei die Frequenz des Erzeugens der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen (i) im wesentlichen konstant bleibt, (ii) sich ändert, (iii) zunimmt, (iv) zunimmt und dann abnimmt, (v) abnimmt oder (vi) abnimmt und dann zunimmt.

**[0065]** Ein kontinuierlicher Ionenstrahl kann an einem Eingang des Massenfilters empfangen werden, oder es können alternativ Ionenpakete am Eingang des Massenfilters empfangen werden. Vorzugsweise treten Ionenimpulse aus einem Ausgang des Massenfilters aus. Das Massenspektrometer weist vorzugsweise weiterhin einen Ionendetektor auf, der dafür eingerichtet ist, bei der Verwendung mit den aus dem Ausgang des Massenfilters austretenden Ionenimpulsen im wesentlichen phasensynchronisiert zu werden. Das Massenspektrometer kann weiterhin einen Flugzeit-Massenanalysator aufweisen, der eine Elektrode zum Injizieren von Ionen in einen Driftbereich aufweist, wobei die Elektrode dafür eingerichtet ist, bei der Verwendung im wesentlichen synchronisiert mit den aus dem Ausgang des Massenfilters austretenden Ionenimpulsen mit Energie versorgt zu werden.

**[0066]** Das Massenfilter ist vorzugsweise aus der folgenden Gruppe ausgewählt: (i) einem Ionentrichter mit mehreren Elektroden, die Öffnungen aufweisen, von denen Ionen bei der Verwendung durchgelassen werden, wobei der Durchmesser der Öffnungen fortschreitend kleiner oder größer wird, (ii) einem Ionentunnel mit mehreren Elektroden, die Öffnungen aufweisen, von denen Ionen bei der Verwendung durchgelassen werden, wobei der Durchmesser der Öffnungen im wesentlichen konstant bleibt, und (iii) einem Stapel von Platten-, Ring- oder Drahtschleifenelektroden.

**[0067]** Das Massenfilter weist vorzugsweise eine Anzahl von Elektroden auf, wobei jede Elektrode eine Öffnung aufweist, von der bei der Verwendung Ionen durchgelassen werden. Jede Elektrode weist vorzugsweise eine im wesentlichen kreisförmige Öffnung auf. Jede Elektrode weist vorzugsweise eine einzige Öffnung auf, von der bei der Verwendung Ionen durchgelassen werden.

**[0068]** Der Durchmesser der Öffnungen von wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das Massenfilter bildenden Elektroden ist vorzugsweise aus der folgenden Gruppe ausgewählt: (i) kleiner oder gleich 10 mm, (ii) kleiner oder gleich 9 mm, (iii) kleiner oder gleich 8 mm, (iv) kleiner oder gleich 7 mm, (v) kleiner oder gleich 6 mm, (vi) kleiner oder gleich 5 mm, (vii) kleiner oder gleich 4 mm, (viii) kleiner oder gleich 3 mm, (ix) kleiner oder gleich 2 mm und (x) kleiner oder gleich 1 mm.

**[0069]** Wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der das Massenfilter bildenden Elektroden haben vorzugsweise Öffnungen, die im wesentlichen die gleiche Größe oder Fläche aufweisen.

**[0070]** Gemäß einer weniger bevorzugten Ausführungsform kann das Massenfilter einen segmentierten Stabsatz aufweisen.

**[0071]** Das Massenfilter besteht vorzugsweise aus (i) 10–20 Elektroden, (ii) 20–30 Elektroden, (iii) 30–40 Elektroden, (iv) 40–50 Elektroden, (v) 50–60 Elektroden, (vi) 60–70 Elektroden, (vii) 70–80 Elektroden, (viii) 80–90 Elektroden, (ix) 90–100 Elektroden, (x) 100–110 Elektroden, (xi) 110–120 Elektroden, (xii) 120–130 Elek-

troden, (xiii) 130–140 Elektroden, (xiv) 140–150 Elektroden, (xv) mehr als 150 Elektroden oder (xvi)  $\geq 15$  Elektroden. Gemäß einer weniger bevorzugten Ausführungsform kann das Massenfilter 7–10 Elektroden aufweisen. Es ist ein Massenfilter bevorzugt, das wenigstens 15 Elektroden aufweist.

**[0072]** Die Dicke von wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der Elektroden ist vorzugsweise aus der folgenden Gruppe ausgewählt: (i) kleiner oder gleich 3 mm, (ii) kleiner oder gleich 2,5 mm, (iii) kleiner oder gleich 2,0 mm, (iv) kleiner oder gleich 1,5 mm, (v) kleiner oder gleich 1,0 mm und (vi) kleiner oder gleich 0,5 mm.

**[0073]** Das Massenfilter hat vorzugsweise eine aus der folgenden Gruppe ausgewählte Länge: (i) kleiner als 5 cm, (ii) 5–10 cm, (iii) 10–15 cm, (iv) 15–20 cm, (v) 20–25 cm, (vi) 25–30 cm und (vii) größer als 30 cm.

**[0074]** Vorzugsweise sind wenigstens 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% oder 95% der Elektroden sowohl an eine Gleichspannungs- als auch an eine Wechsel- oder HF-Spannungsversorgung angeschlossen. Gemäß der bevorzugten Ausführungsform werden axial benachbarten Elektroden Wechsel- oder HF-Spannungen mit einer Phasendifferenz von  $180^\circ$  zugeführt.

**[0075]** Das Massenspektrometer kann eine Ionenquelle aufweisen, die aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: (i) einer Elektrospray-Ionenquelle ("ESI-Ionenquelle"), (ii) einer Atmosphärendruck-Ionenquelle mit chemischer Ionisation ("APCI-Ionenquelle"), (iii) einer Atmosphärendruck-Photoionisations-Ionenquelle ("APPI-Ionenquelle"), (iv) einer matrixunterstützten Laserdesorptionsionisations-Ionenquelle ("MALDI-Ionenquelle"), (v) einer Laserdesorptionsionisations-Ionenquelle ("LDI-Ionenquelle"), (vi) einer induktiv gekoppelten Plasma-Ionenquelle ("ICP-Ionenquelle"), (vii) einer Elektronenstoß-Ionenquelle ("EI-Ionenquelle"), (viii) einer Ionenquelle mit chemischer Ionisation ("CI-Ionenquelle"), (ix) einer Ionenquelle mit schnellem Atombeschuß ("FAB-Ionenquelle") und (x) einer Flüssig-Sekundärionen-Massenspektrometrie-Ionenquelle ("LSIMS-Ionenquelle"). Die Ionenquelle kann entweder eine kontinuierliche oder eine gepulste Ionenquelle sein.

**[0076]** Zusammen mit der vorliegenden Erfindung ist vorteilhaft ein Massenfilter zum Trennen von Ionen entsprechend ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis einsetzbar, wobei das Massenfilter wenigstens sieben Elektroden aufweist, wobei bei der Verwendung eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen innerhalb des Massenfilters radial einzuschließen, und wobei bei der Verwendung eine oder mehrere transiente Gleichspannungen oder eine oder mehrere transiente Gleichspannungs-Wellenformen fortschreitend an die Elektroden angelegt werden, so dass wenigstens einige Ionen mit einem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis von anderen Ionen mit einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis, welche im wesentlichen innerhalb des Massenfilters radial eingeschlossen bleiben, getrennt werden.

**[0077]** Zusammen mit der vorliegenden Erfindung ist vorteilhaft ein Massenfilter zum Trennen von Ionen entsprechend ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis einsetzbar, wobei das Massenfilter wenigstens sieben Elektroden aufweist, wobei bei der Verwendung eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen innerhalb des Massenfilters radial einzuschließen, und wobei bei der Verwendung eine oder mehrere transiente Gleichspannungen oder eine oder mehrere transiente Gleichspannungs-Wellenformen fortschreitend an die Elektroden angelegt werden, so dass Ionen zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein solches Potential aufweist, daß wenigstens einige Ionen mit einem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis durch das Potential laufen, während andere Ionen mit einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das Potential laufen, sondern im wesentlichen innerhalb des Massenfilters radial eingeschlossen bleiben.

**[0078]** Zusammen mit der vorliegenden Erfindung ist vorteilhaft ein Massenfilter zum Trennen von Ionen entsprechend ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis einsetzbar, wobei das Massenfilter eine Anzahl von Elektroden aufweist, wobei bei der Verwendung eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen innerhalb des Massenfilters radial einzuschließen, und wobei bei der Verwendung eine oder mehrere transiente Gleichspannungen oder eine oder mehrere transiente Gleichspannungs-Wellenformen fortschreitend an die Elektroden angelegt werden, so dass:

(i) Ionen zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein erstes Potential aufweist, so dass wenigstens einige Ionen mit einem ersten und einem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis, die voneinander verschieden sind, durch das erste Potential laufen, während andere Ionen mit einem dritten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das erste Potential laufen, und dann

(ii) Ionen mit dem ersten und dem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein zweites Potential aufweist, so dass wenigstens eini-

ge Ionen mit dem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis durch das zweite Potential laufen, während andere Ionen mit dem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das zweite Potential laufen.

**[0079]** Vorteilhafterweise ist ein Verfahren zur Massenspektrometrie vorgesehen, welches die folgenden Schritte aufweist:

Empfangen von Ionen in einem Massenfilter mit wenigstens sieben Elektroden, wobei eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen radial innerhalb des Massenfilters einzuschließen, und

fortschreitendes Anlegen von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen an die Elektroden, so daß wenigstens einige Ionen mit einem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis von anderen Ionen mit einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis, die im wesentlichen innerhalb des Massenfilters radial eingeschlossen bleiben, getrennt werden.

**[0080]** Vorteilhafterweise ist ein Verfahren zur Massenspektrometrie vorgesehen, welches die folgenden Schritte aufweist:

Empfangen von Ionen in einem Massenfilter mit wenigstens sieben Elektroden, wobei eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen radial innerhalb des Massenfilters einzuschließen, und

fortschreitendes Anlegen von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen an die Elektroden, so daß Ionen zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein solches Potential aufweist, daß wenigstens einige Ionen mit einem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis durch das Potential laufen, während andere Ionen mit einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das Potential laufen, sondern im wesentlichen innerhalb des Massenfilters radial eingeschlossen bleiben.

**[0081]** Vorteilhafterweise ist ein Verfahren zur Massenspektrometrie vorgesehen, welches die folgenden Schritte aufweist:

Empfangen von Ionen in einem Massenfilter mit mehreren Elektroden, wobei eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen radial innerhalb des Massenfilters einzuschließen, und

fortschreitendes Anlegen von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen an die Elektroden, so dass Ionen zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein erstes Potential aufweist, so daß wenigstens einige Ionen mit einem ersten und einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis durch das erste Potential laufen, während andere Ionen mit einem dritten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das erste Potential laufen, und dann

fortschreitendes Anlegen von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen an die Elektroden, so daß Ionen mit dem ersten und dem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein zweites Potential aufweist, so dass wenigstens einige Ionen mit dem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis durch das zweite Potential laufen, während andere Ionen mit dem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das zweite Potential laufen.

**[0082]** Vorteilhafterweise ist ein Verfahren zur Masse-Ladungs-Verhältnis-Trennung vorgesehen, welches die folgenden Schritte aufweist:

Empfangen von Ionen in einem Massenfilter mit wenigstens sieben Elektroden, wobei eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen radial innerhalb des Massenfilters einzuschließen, und

fortschreitendes Anlegen von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen an die Elektroden, so dass wenigstens einige Ionen mit einem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis von anderen Ionen mit einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis, die im wesentlichen innerhalb des Massenfilters radial eingeschlossen bleiben, getrennt werden.

**[0083]** Vorteilhafterweise ist ein Verfahren zur Masse-Ladungs-Verhältnis-Trennung vorgesehen, welches die folgenden Schritte aufweist:

Empfangen von Ionen in einem Massenfilter mit wenigstens sieben Elektroden, wobei eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen radial innerhalb des Massenfilters einzuschließen, und

fortschreitendes Anlegen von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen an die Elektroden, so dass Ionen zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein solches Potential aufweist, dass wenigstens eini-

ge Ionen mit einem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis durch das Potential laufen, während andere Ionen mit einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das Potential laufen, sondern im wesentlichen innerhalb des Massenfilters radial eingeschlossen bleiben.

**[0084]** Vorteilhafterweise ist ein Verfahren zur Masse-Ladungs-Verhältnis-Trennung vorgesehen, welches die folgenden Schritte aufweist:

Empfangen von Ionen in einem Massenfilter mit mehreren Elektroden, wobei eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen radial innerhalb des Massenfilters einzuschließen, und fortschreitendes Anlegen von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen an die Elektroden, so dass Ionen zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein erstes Potential aufweist, so daß wenigstens einige Ionen mit einem ersten und einem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis durch das erste Potential laufen, während andere Ionen mit einem dritten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das erste Potential laufen, und dann

fortschreitendes Anlegen von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen an die Elektroden, so daß Ionen mit dem ersten und dem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis zu einem Bereich des Massenfilters bewegt werden, in dem wenigstens eine Elektrode ein zweites Potential aufweist, so dass wenigstens einige Ionen mit dem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis durch das zweite Potential laufen, während andere Ionen mit dem zweiten verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das zweite Potential laufen.

**[0085]** Vorteilhafterweise ist ein Massenfilter vorgesehen, in dem Ionen entsprechend ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis getrennt werden, und wobei Ionen entlang dem Massenfilter verschiedene im wesentlichen statische axiale Positionen oder axiale Gleichgewichtspositionen annehmen. Vorzugsweise werden Ionen mit Masse-Ladungs-Verhältnissen, die innerhalb eines ersten Bereichs liegen, in einem ersten axialen Einfangbereich gespeichert, während Ionen mit Masse-Ladungs-Verhältnissen, die innerhalb eines zweiten verschiedenen Bereichs liegen, in einem zweiten verschiedenen axialen Einfangbereich gespeichert werden.

**[0086]** Das Massenfilter weist vorzugsweise eine Anzahl von Elektroden auf, wobei bei der Verwendung eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden angelegt wird, um Ionen radial innerhalb des Massenfilters einzuschließen. Vorzugsweise werden eine oder mehrere transiente Gleichspannungen oder eine oder mehrere transiente Gleichspannungs-Wellenformen fortschreitend an die Elektroden angelegt, um wenigstens einige Ionen in eine erste Richtung zu drängen.

**[0087]** Vorzugsweise bewirkt ein Gleichspannungsgradient, dass wenigstens einige Ionen in eine zweite Richtung gedrängt werden, wobei die zweite Richtung der ersten Richtung entgegengesetzt ist.

**[0088]** Die Spitzenamplitude der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen bleibt vorzugsweise entlang dem Massenfilter im wesentlichen konstant oder verringert sich entlang dem Massenfilter.

**[0089]** Der Gleichspannungsgradient kann entlang dem Massenfilter fortschreitend zunehmen.

**[0090]** Sobald Ionen entlang dem Massenfilter im wesentlichen statische axiale Positionen oder axiale Gleichgewichtspositionen angenommen haben, können wenigstens einige der Ionen zu einem Ausgang des Massenfilters bewegt werden. Wenigstens einige der Ionen können zu einem Ausgang des Massenfilters bewegt werden, indem: (i) ein axialer Gleichspannungsgradient verringert oder erhöht wird, (ii) die Spitzenamplitude von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen verringert oder erhöht wird, (iii) die Geschwindigkeit von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder einer oder mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen verringert oder erhöht wird oder (iv) der Druck innerhalb des Massenfilters verringert oder erhöht wird.

**[0091]** Vorteilhafterweise ist ein Massenspektrometer mit einem Massenfilter vorgesehen, wie vorstehend beschrieben wurde.

**[0092]** Vorteilhafterweise ist ein Verfahren zur Masse-Ladungs-Verhältnis-Trennung vorgesehen, bei dem bewirkt wird, daß Ionen innerhalb eines Massenfilters getrennt werden und entlang dem Massenfilter verschiedene im wesentlichen statische axiale Positionen oder axiale Gleichgewichtspositionen annehmen.

**[0093]** Vorteilhafterweise ist ein Verfahren zur Massenspektrometrie vorgesehen, welches beliebige der vor-

stehend beschriebenen Verfahren zur Masse-Ladungs-Verhältnis-Trennung aufweist.

**[0094]** Verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun nur als Beispiel mit Bezug auf die anliegende Zeichnung beschrieben, wobei:

**[0095]** [Fig. 1](#) die r- und z-Koordinaten eines bevorzugten rotationssymmetrischen Ringführungs- oder Ionentunnel-Massenfilters zeigt,

**[0096]** [Fig. 2](#) Ionen mit verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnissen in einem Gleichgewichtszustand innerhalb eines bevorzugten Ionentunnel-Massenfilters zeigt,

**[0097]** [Fig. 3](#) ein Gleichspannungspotential zeigt, das an einem Ende des bevorzugten Massenfilters an eine Elektrode angelegt ist,

**[0098]** [Fig. 4](#) das Gleichspannungspotential zeigt, das fortschreitend an Elektroden weiter entlang dem Massenfiter angelegt wird und die Wirkung hat, Ionen mit vergleichsweise niedrigen Masse-Ladungs-Verhältnissen mitzunehmen oder bevorzugt zu beschleunigen, während Ionen mit höheren Masse-Ladungs-Verhältnissen zurückgelassen werden oder im wesentlichen vergleichsweise unbeeinflusst bleiben,

**[0099]** [Fig. 5](#) Ionen mit vergleichsweise niedrigen Masse-Ladungs-Verhältnissen an dem Punkt zeigt, an dem sie aus einem Massenfiter gemäß der bevorzugten Ausführungsform ausgestoßen werden, während andere Ionen mit höheren Masse-Ladungs-Verhältnissen innerhalb des Massenfilters eingefangen bleiben,

**[0100]** [Fig. 6](#) Ionen in einem bevorzugten Massenfiter, das in einem Bandpaß-Betriebsmodus betrieben wird, im Gleichgewicht zeigt, wobei zwei oder mehr axiale Einfangbereiche entlang dem Massenfiter ausgebildet sind,

**[0101]** [Fig. 7](#) eine nachfolgende Stufe in einem Bandpass-Betriebsmodus zeigt, wobei Ionen mit einem verhältnismäßig niedrigen Masse-Ladungs-Verhältnis, die in eine zweite Stufe des Massenfilters mitgenommen worden sind, gerade ein an Elektroden angelegtes Gleichspannungspotential spüren und sich in entgegengesetzte Richtung bewegen, und

**[0102]** [Fig. 8](#) eine weitere Stufe in einem Bandpass-Betriebsmodus zeigt, wobei Ionen mit einem mittleren Masse-Ladungs-Verhältnis von Ionen getrennt worden sind, die höhere und niedrigere Masse-Ladungs-Verhältnisse aufweisen.

**[0103]** Gemäß der bevorzugten Ausführungsform ist ein Massenfiter mit einer Ionentunnel-Ionenführung oder weniger bevorzugt einer Ionentrichter-Ionenführung vorgesehen. Ionentunnel- und Ionentrichter-Ionenführungen weisen mehrere Elektroden mit Löchern auf, von denen Ionen bei der Verwendung durchgelassen werden. Bei Ionentunnel-Ionenführungen sind die Größen der Öffnungen vorzugsweise im wesentlichen alle gleich, während bei Ionentrichter-Ionenführungen die Größen der Öffnungen vorzugsweise zunehmend kleiner werden.

**[0104]** Durch das Anlegen eines elektrischen Wechsel- oder HF-Felds an die Elektroden einer Ionentunnel-Ionenführung wird ein effektives Potential erzeugt, das sich auf die Frequenz der radial einschließenden Wechsel- oder HF-Spannung und die Ionenführungsgeometrie selbst bezieht und durch

$$V^* = \frac{q^2 V_0^2}{4m\Omega^2 z_0^2} \left[ I_1^2(\hat{r}) \cos^2 \hat{z} + I_0^2(\hat{r}) \sin^2 \hat{z} \right] / I_0^2(\hat{r}_0)$$

$$\hat{r} = r/z_0$$

$$\hat{r}_0 = r_0/z_0$$

$$\hat{z}_0 = z/z_0$$

gegeben ist, wobei  $V_0$  die Amplitude der angelegten Wechsel- oder HF-Spannung ist,  $\Omega$  die Winkelfrequenz der angelegten Wechsel- oder HF-Spannung ist,  $m$  die Ionenmasse ist,  $q$  die Ionenladung ist und  $I_1$  und  $I_0$  modifizierte Bessel-Funktionen sind. Die Parameter  $r_0$  und  $z_0$  sind in [Fig. 1](#) in näheren Einzelheiten dargestellt.

**[0105]** Die Wechsel- oder HF-Spannung wird so an die Elektroden des Massenfilters angelegt, daß benachbarte Elektroden vorzugsweise in entgegengesetzter Phase gehalten werden. Dies führt zum radialen Einschließen der Elektroden um die zentrale Längsachse.

**[0106]** Gemäß weniger bevorzugten Ausführungsformen kann das Massenfilter beispielsweise einen segmentierten Quadrupol-Stabsatz (oder einen anderen Multipol-Stabsatz) aufweisen, wobei jedes Segment des Stabsatzes auf einem eigenen Gleichspannungspotential gehalten werden kann.

**[0107]** Das Massenfilter wird vorzugsweise auf einem solchen Druck gehalten, dass die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ion eine Kollision mit einem Gasmolekül durchmacht, während es durch das Massenfilter läuft, im wesentlichen vernachlässigbar ist. Das Massenfilter wird daher vorzugsweise während eines Massenfilterungs-Betriebsmodus auf einem Druck von  $< 10^{-4}$  mbar gehalten. Die mittlere freie Weglänge der durch das Massenfilter laufenden Ionen, wenn dieses in einem Massenfilterungs-Betriebsmodus betrieben wird, ist vorzugsweise größer oder erheblich größer als die Länge des Massenfilters. Es ist jedoch möglich, daß Gas zuvor eine ausreichende Zeit bei Drücken von  $> 10^{-4}$  mbar im Massenfilter vorhanden war, um die Ionenbewegung in das Massenfilter eintretender Ionen durch Kollisionen zu dämpfen, so dass die Ionen thermalisiert und/oder durch Kollisionen fokussiert werden.

**[0108]** Gemäß der bevorzugten Ausführungsform treten Ionen von einer Ionenquelle, beispielsweise einer Elektrospray- oder MALDI-Ionenquelle, in das Massenfilter ein und werden darin radial eingeschlossen. Eine oder mehrere der in [Fig. 2](#) dargestellten Endelektroden **2a**, **2b** des Massenfilters **1** werden vorzugsweise auf einer leicht positiven Spannung in bezug auf die anderen Elektroden **3** gehalten, so daß negativ geladene Elektroden effektiv axial in dem Massenfilter **1** eingefangen werden, weil sie nicht in der Lage sind, den Potentialwall an den Enden des Massenfilters **1** zu überwinden.

**[0109]** Nach einem bestimmten Zeitraum wird ein Gleichgewicht erreicht, bei dem Ionen mit unterschiedlichen Masse-Ladungs-Verhältnissen über das Massenfilter **1** im wesentlichen gleich verteilt sind, wie in [Fig. 2](#) dargestellt ist. Das bevorzugte Ionentunnel-Massenfilter **1** weist mehrere Elektroden **3** auf, die jeweils eine Öffnung aufweisen, von denen Ionen bei der Verwendung durchgelassen werden können. Benachbarte Elektroden **3** sind vorzugsweise mit entgegengesetzten Phasen einer Wechsel- oder HF-Spannungsversorgung verbunden, so dass Ionen innerhalb des Massenfilters **1** durch die von der an die Elektroden **3** angelegten Wechsel- oder HF-Spannung erzeugte sich ergebende Pseudopotentialmulde radial innerhalb des Massenfilters **1** eingeschlossen werden. Das Massenfilter **1** wird vorzugsweise auf einem geeignet niedrigen Druck gehalten, so daß Ionen, die das Massenfilter **1** in Längsrichtung durchqueren, effektiv innerhalb des Massenfilters **1** keine Kollisionen mit Gasmolekülen durchmachen. Eine oder mehrere Endelektroden **2a**, **2b** des Massenfilters **1** werden vorzugsweise auf einer leicht positiven Spannung in bezug auf die anderen Elektroden **3** gehalten, so dass Ionen, die einmal in das Massenfilter **1** eingetreten sind, innerhalb des Massenfilters **1** effektiv eingefangen werden und nicht in der Lage sind, die Potentialwälle an einem oder beiden Enden zu überwinden. Nach einem bestimmten Zeitraum kann innerhalb des Massenfilters **1** ein Gleichgewicht erreicht werden, so daß Ionen aller Massen und Masse-Ladungs-Verhältnisse entlang dem Massenfilter **1** im wesentlichen gleich verteilt sind.

**[0110]** Wie in [Fig. 3](#) dargestellt ist, kann gemäß einer Ausführungsform ein Gleichspannungsimpuls  $V_g$  mit einer Amplitude  $\Phi$  an die erste Elektrode der Ionenführung neben einer der Endelektroden **2a** angelegt werden, so dass einige Ionen durch den angelegten Spannungsimpuls  $V_g$  entlang dem Massenfilter **1** zum entgegengesetzten Ende beschleunigt werden. Das durch die angelegte Spannung hervorgerufene elektrische Feld nimmt innerhalb weniger Elektrodenabstände schnell auf einen vernachlässigbaren Wert ab.

**[0111]** Der Spannungsimpuls  $V_g$  wird dann vorzugsweise schnell auf die nächste benachbarte Elektrode umgeschaltet. Ein Ion, das ausreichend Zeit hatte, um wenigstens einen Elektrodenabstand zu driften, ist entweder so beschleunigt worden, dass es entlang dem Massenfilter **1** bereits erheblich fortgeschritten ist, oder es hat sich zumindest weit genug bewegt, um dieselbe Kraft wieder zu spüren, und es bewegt sich daher weiter in die Richtung entlang dem Massenfilter **1**, in die sich der an die Elektroden **3** angelegte Gleichspannungsimpuls  $V_g$  bewegt. Ionen mit einem verhältnismäßig hohen Masse-Ladungs-Verhältnis können jedoch durch das elektrische Feld entweder im wesentlichen unbeeinflusst bleiben, oder ihnen bleibt zumindest nicht genug Zeit, um weit genug entlang dem Massenfilter **1** zu driften, um den Einfluß des Spannungsimpulses  $V_g$  zu spüren, wenn er auf die nächste benachbarte Elektrode geschaltet wird. Demgemäß werden diese Ionen mit höheren Masse-Ladungs-Verhältnissen effektiv zurückgelassen oder bleiben auf andere Weise im wesentlichen unbeeinflusst (oder sie werden zumindest in geringerem Maße beeinflusst), wenn der laufende Gleichspannungsimpuls  $V_g$  oder die Spannungswellenform entlang dem Massenfilter **1** läuft.

**[0112]** Der Gleichspannungsimpuls  $V_g$  wird vorzugsweise entlang dem Massenfilter **1** von Elektrode zu Elektrode zunehmend auf die Elektroden geschaltet, wodurch diese Ionen mit einem ausreichend niedrigen Masse-Ladungs-Verhältnis mitgenommen werden oder diese Ionen vor ihm beschleunigt werden. Wie in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) dargestellt ist, wirkt das Massenfilter **1** in diesem Betriebsmodus als ein Tiefpaß-Masse-Ladungs-Verhältnis-Filter, so dass Ionen, deren Masse-Ladungs-Verhältnisse unterhalb eines bestimmten Werts liegen, vorzugsweise aus dem Massenfilter **1** ausgestoßen werden können, während Ionen, die erheblich höhere Masse-Ladungs-Verhältnisse aufweisen, durch die Kombination aus der radialen Einschließung infolge der an die Elektroden **3** angelegten Wechsel- oder HF-Spannungen und der axialen Einschließung infolge von einem oder mehreren Gleichspannungs-Wallpotentialen, die an eine oder beide Endelektroden **2a**, **2b** angelegt sind, vorzugsweise im wesentlichen innerhalb des Massenfilters **1** eingesperrt bleiben.

**[0113]** Sobald ein erstes Ionenbündel oder eine erste Ionengruppe mit einem verhältnismäßig niedrigen Masse-Ladungs-Verhältnis aus dem Massenfilter **1** ausgestoßen worden ist, wie in [Fig. 5](#) dargestellt ist, kann die Wobbelzeit  $T_{\text{sweep}}$  des an die Elektroden **3** angelegten Gleichspannungsimpulses  $V_g$  vorzugsweise verringert werden, so dass Ionen mit einem etwas höheren (also mittleren) Masse-Ladungs-Verhältnis dann bevorzugt beschleunigt werden. Dementsprechend können Ionen mit einem mittleren Masse-Ladungs-Verhältnis bevorzugt nacheinander aus dem Massenfilter **1** ausgestoßen werden. Durch allmähliches Weiterverringern der Wobbelzeit  $T_{\text{sweep}}$  kann ein vollständiger Masse-Ladungs-Verhältnis-Scann eingerichtet werden, bis das Massenfilter **1** von Ionen im wesentlichen entleert ist.

**[0114]** Gemäß einer alternativen und/oder zusätzlichen Ausführungsform kann die Amplitude des an die Elektroden **3** angelegten Gleichspannungsimpulses  $V_g$  oder der daran angelegten Spannungswellenform bei jedem Sweep zunehmend vergrößert werden, um dadurch Ionen mit zunehmend höheren Masse-Ladungs-Verhältnissen im wesentlichen in der gleichen Weise, als ob die Wobbelzeit vergrößert werden würde, zu sammeln oder vorzugsweise vor auszubeschleunigen.

**[0115]** Gemäß einer anderen Ausführungsform kann ein Bandpass-Betriebsmodus ausgeführt werden, wobei Ionen mit Masse-Ladungs-Verhältnissen, die innerhalb eines bestimmten Bereichs von Masse-Ladungs-Verhältnissen liegen, innerhalb des Massenfilters **1** isoliert werden können und dann nachfolgend aus dem Massenfilter **1** ausgestoßen werden, während Ionen mit höheren und niedrigeren Masse-Ladungs-Verhältnissen im wesentlichen innerhalb des Massenfilters **1** eingefangen bleiben können. Der Bandpaß-Betriebsmodus wird vorzugsweise erreicht, indem zwei oder mehr axiale Einfangbereiche **5**, **6** entlang dem Massenfilter **1**, wie in [Fig. 6](#) dargestellt ist, dadurch erzeugt werden, dass eine verhältnismäßig niedrige Gleichspannung an eine Elektrode **4** an einer mittleren Position entlang dem Massenfilter **1** angelegt wird. Ionen werden dann vorzugsweise durch Anlegen eines Gleichspannungsimpulses  $V_g$  oder einer Spannungswellenform, die fortschreitend an die Elektroden in einem ersten axialen Einfangbereich **5** angelegt wird, zur mittleren Elektrode **4** hin mitgeführt. Wie in [Fig. 7](#) dargestellt ist, führt dies dazu, dass Ionen, deren Masse-Ladungs-Verhältnisse kleiner als ein bestimmter Wert sind, durch den ersten axialen Einfangbereich **5**, durch die mittlere Elektrode **4** oder an dieser vorbei und in einen zweiten vorzugsweise leeren axialen Einfangbereich **6** mitgeführt werden. Eine zweite laufende Gleichspannung  $V'_g$  oder Spannungswellenform wird dann vorzugsweise in dem zweiten axialen Einfangbereich **6** in Gegenrichtung an die Elektroden angelegt, so dass Ionen mit einem verhältnismäßig niedrigen Masse-Ladungs-Verhältnis zur mittleren Elektrode **4** zurück beschleunigt oder mitgenommen werden. Diese Ionen mit niedrigen Masse-Ladungs-Verhältnissen laufen dann vorzugsweise in den ersten axialen Einfangbereich **5** zurück, während Ionen mit einem verhältnismäßig hohen Masse-Ladungs-Verhältnis innerhalb des zweiten axialen Einfangbereichs **6** eingefangen bleiben. Dementsprechend bleiben Ionen mit einem mittleren Gesamt-Masse-Ladungs-Verhältnis im zweiten axialen Einfangbereich, wie in [Fig. 8](#) dargestellt ist, und können dann aus dem Massenfilter **1** ausgestoßen werden.

**[0116]** Die Amplitude der in Gegenrichtung mitnehmenden laufenden Gleichspannung  $V'_g$  oder Spannungswellenform ist vorzugsweise höher als die Amplitude der Gleichspannung  $V_g$  oder der an die Elektroden **3** angelegten Spannungswellenform, wenn Ionen aus dem ersten axialen Einfangbereich **5** in den zweiten axialen Einfangbereich **6** mitgenommen werden. Vorzugsweise wird die Amplitude der Gleichspannung  $V'_g$  oder der Spannungswellenform, die an die Elektroden **3** für das Mitnehmen in Gegenrichtung angelegt wird, um einen Faktor von etwa Neun erhöht, weil die Relativgeschwindigkeit zwischen der Gleichspannung  $V_g$  oder der Spannungswellenform, die an die Elektroden **3** angelegt ist, und den Ionen von  $v_0$  (der Geschwindigkeit des an die Elektroden zunächst angelegten Gleichspannungspotentials) auf  $3v_0$  zugenommen hat, während die Ionen während des ersten Durchlaufs auf  $2v_0$  beschleunigt wurden und dann durch ein zweites Gleichspannungspotential, wieder auf eine Geschwindigkeit von  $v_0$  angenähert wurden. Das Potential, das erforderlich ist, um gerade zu verhindern, daß ein Ion durch es hindurchtritt, ist proportional zum Quadrat der Relativgeschwindigkeit, woraus sich der Faktor Neun ergibt.

**[0117]** Wenngleich die vorliegende Erfindung mit Bezug auf bevorzugte Ausführungsformen beschrieben worden ist, werden Fachleute verstehen, dass verschiedene Änderungen an der Form und den Einzelheiten vorgenommen werden können, ohne von dem in den anliegenden Ansprüchen dargelegten Schutzzumfang der Erfindung abzuweichen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Trennung von Ionen aufgrund ihres Masse-Ladungs-Verhältnisses, das folgende Schritte aufweist:

- Empfangen von Ionen in einem Massenfilter (1), das mehrere Elektroden (3) aufweist, wobei eine Wechsel- oder HF-Spannung an die Elektroden (3) angelegt wird, um die Ionen radial innerhalb des Massenfilters (1) einzuschließen,
- Anlegen einer oder mehrerer transienter Gleichspannungen oder Gleichspannungswellenformen, die in eine erste Richtung entlang des Massenfilters (1) laufen, an die Elektroden (3), so dass Ionen mit einem Masse-Ladungs-Verhältnis, das unterhalb eines bestimmten Wertes liegt, entlang eines ersten Bereiches (5) des Massenfilters (1) zu mindestens einer Elektrode bewegt werden, die ein erstes Potential aufweist, welches derart gewählt ist, dass wenigstens einige Ionen mit einem ersten und einem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis, die voneinander verschieden sind, durch das erste Potential in einen zweiten Bereich (6) des Massenfilters (1) hindurchlaufen, während andere Ionen, die ein drittes, verschiedenes Masse-Ladungs-Verhältnis aufweisen, nicht durch das erste Potential hindurchlaufen, und dann
- Anlegen von einer oder mehreren transienten Gleichspannungen oder Gleichspannungswellenformen, die in eine zweite, der ersten Richtung entgegengesetzte Richtung entlang des Massenfilters (1) laufen, an die Elektroden (3), so dass Ionen mit dem ersten und dem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis zu mindestens einer Elektrode bewegt werden, die ein zweites Potential aufweist, welches derart gewählt ist, dass wenigstens einige Ionen mit dem ersten Masse-Ladungs-Verhältnis durch das zweite Potential hindurchlaufen, während die Ionen mit dem zweiten Masse-Ladungs-Verhältnis nicht durch das zweite Potential hindurchlaufen,
- wobei das Massenfilter auf einem Druck gehalten wird, der kleiner oder gleich  $5 \times 10^{-5}$  mbar ist, und derart gewählt ist, dass die mittlere freie Weglänge der durch das Massenfilter (1) laufenden Ionen größer ist als die Länge des Massenfilters.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitude der in Gegenrichtung laufenden Gleichspannung oder Gleichspannungswellenform  $V_g$  höher als die Amplitude der in die erste Richtung verlaufenden Gleichspannung oder Gleichspannungswellenform  $V'_g$  ist.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen erzeugen: (i) einen Potentialhügel oder Potentialwall, (ii) eine Potentialmulde, (iii) eine Kombination aus einem Potentialhügel oder einem Potentialwall und einer Potentialmulde, (iv) mehrere Potentialhügel oder Potentialwälle, (v) mehrere Potentialmulden, (vi) eine Kombination aus mehreren Potentialhügeln oder Potentialwällen und mehreren Potentialmulden.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen eine sich wiederholende Wellenform einschließen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen eine Rechteckwelle einschließen.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein axialer Gleichspannungsgradient entlang wenigstens einem Abschnitt der Länge des Massenfilters aufrechterhalten wird und wobei sich der axiale Spannungsgradient zeitlich ändert.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Amplitude der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen zeitlich konstant bleibt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei sich die Amplitude der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen zeitlich ändert.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Amplitude der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen entweder: (i) zeitlich

zunimmt, (ii) zeitlich zunimmt und dann abnimmt, (iii) zeitlich abnimmt oder (iv) zeitlich abnimmt und dann zunimmt.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungen oder die eine oder die mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen wiederholt erzeugt werden und bei der Verwendung entlang dem Massenfilter geführt werden, wobei die Frequenz des Erzeugens der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungen oder der einen oder der mehreren transienten Gleichspannungs-Wellenformen (i) konstant bleibt, (ii) sich ändert, (iii) zunimmt, (iv) zunimmt und dann abnimmt, (v) abnimmt oder (vi) abnimmt und dann zunimmt.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei bei der Verwendung ein kontinuierlicher Ionenstrahl an einem Eingang in das Massenfilter empfangen wird.

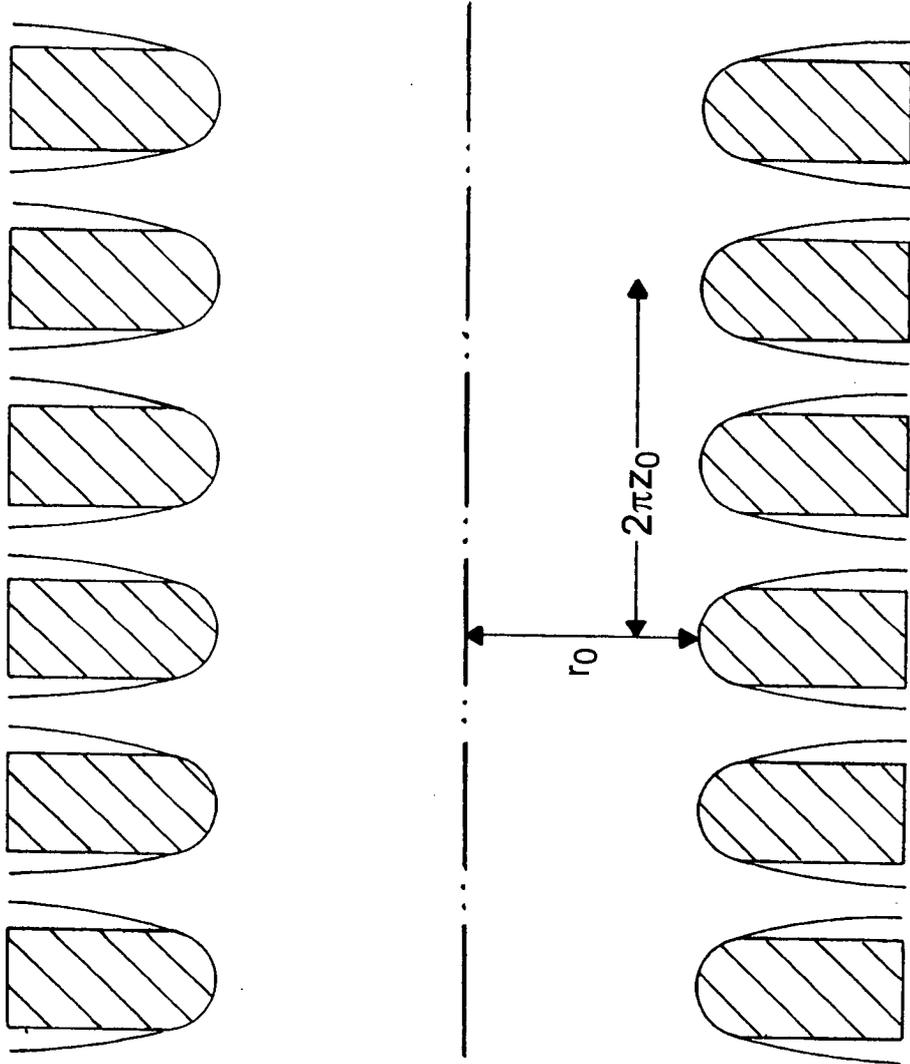
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei bei der Verwendung Ionenpakete an einem Eingang in das Massenfilter empfangen werden.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei bei der Verwendung Ionenimpulse aus einem Ausgang des Massenfilters austreten.

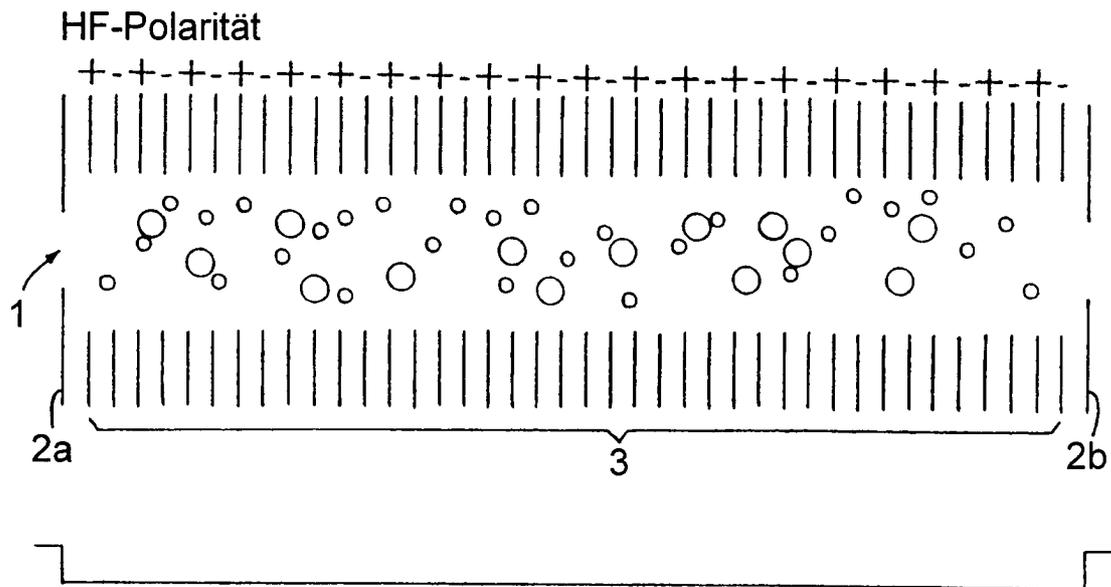
14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem ein Ionendetektor vorgesehen ist, der mit den aus dem Ausgang des Massenfilters austretenden Ionenimpulsen phasensynchronisiert ist.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, welches weiter einen Flugzeit-Massenanalysator aufweist, bei dem eine Elektrode zum Injizieren von Ionen in einen Driftbereich desselben vorgesehen ist, wobei die Elektrode mit den aus dem Ausgang des Massenfilters austretenden Ionenimpulsen synchronisiert mit Energie versorgt wird.

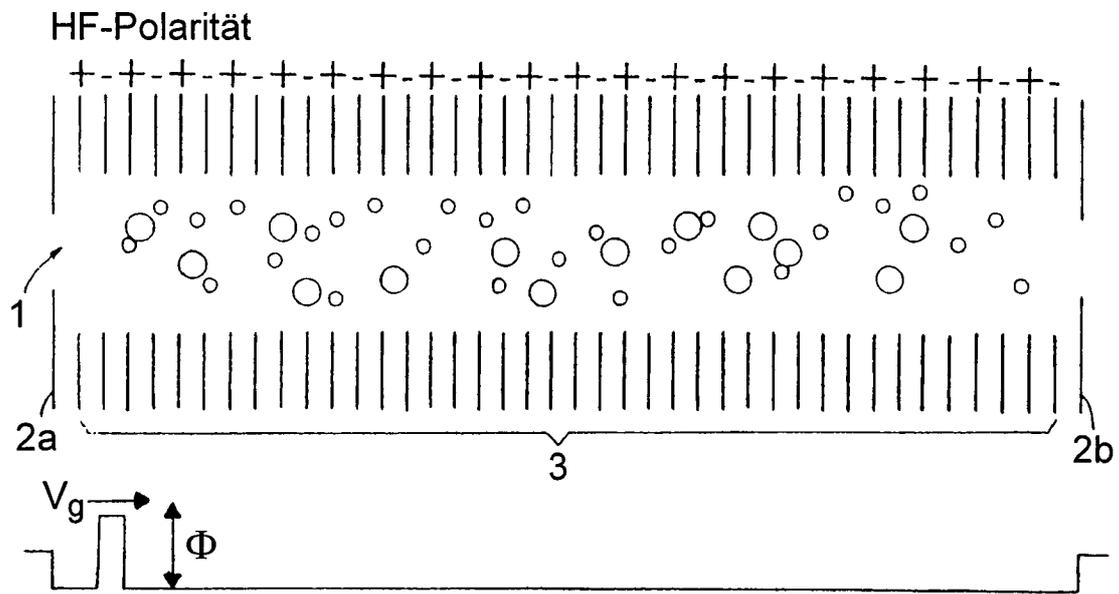
Es folgen 5 Blatt Zeichnungen



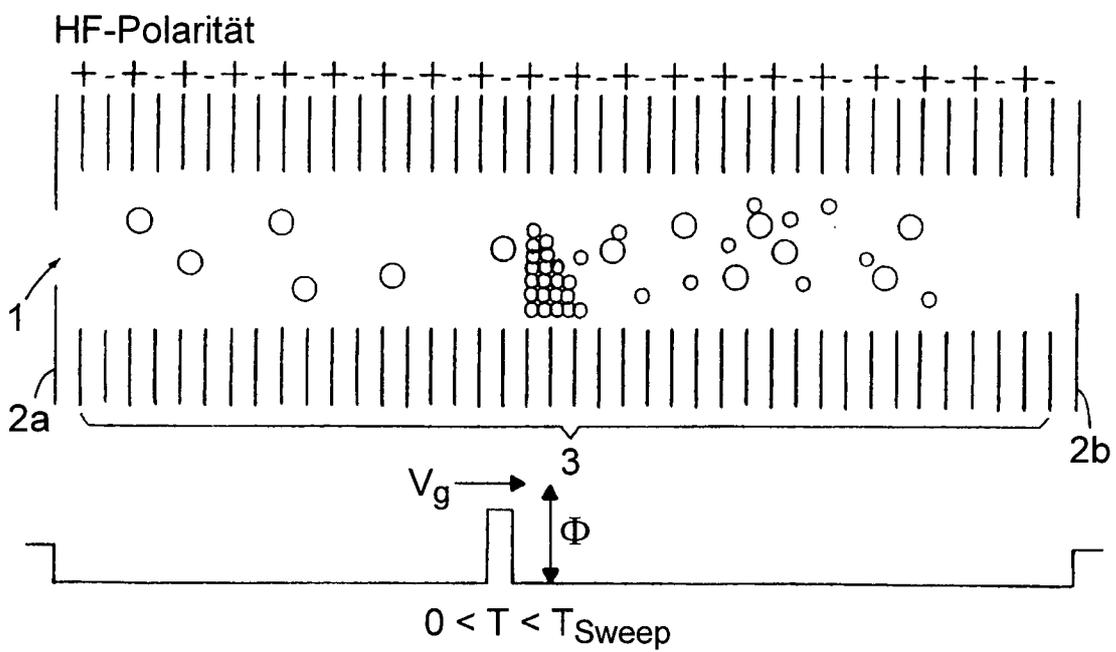
Figur 1



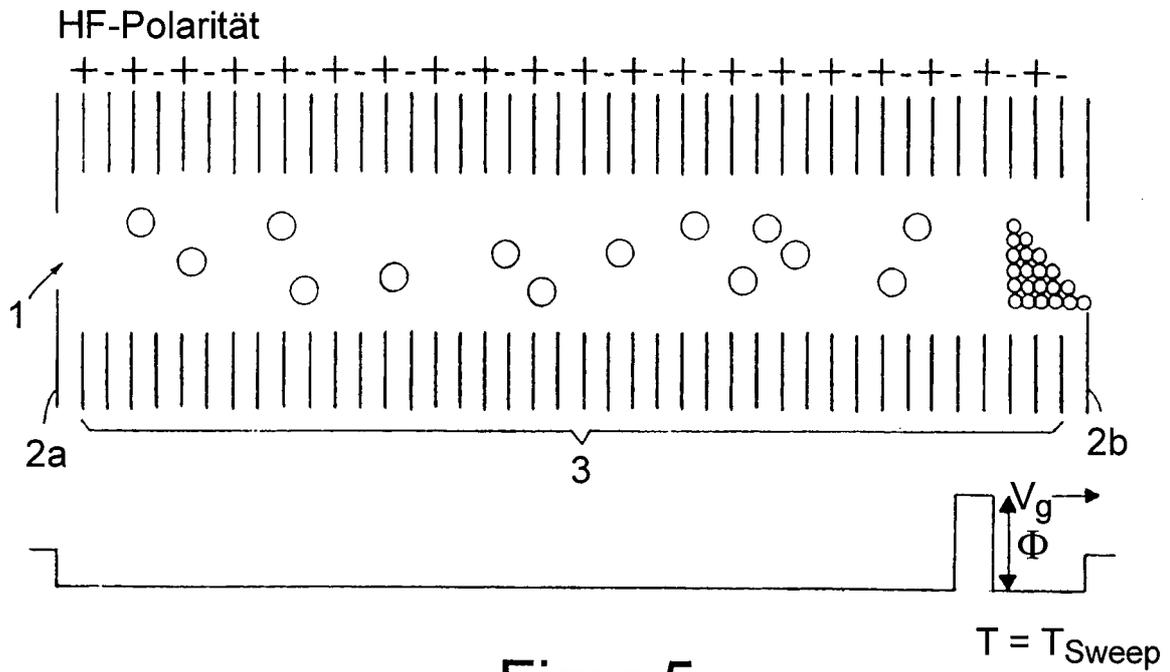
Figur 2



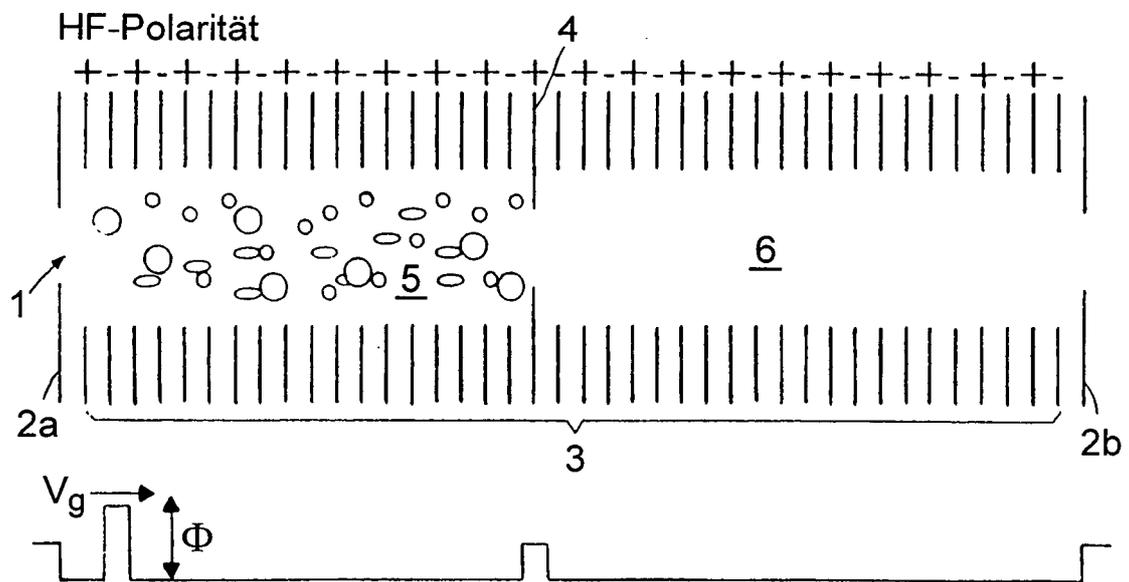
Figur 3



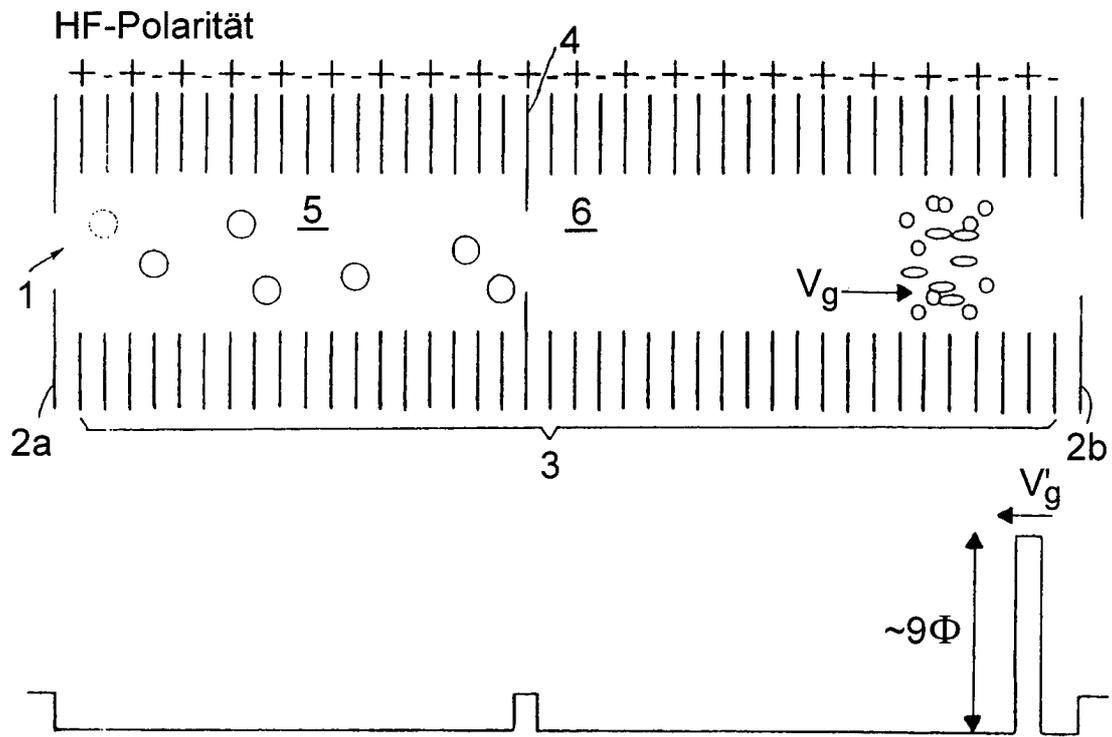
Figur 4



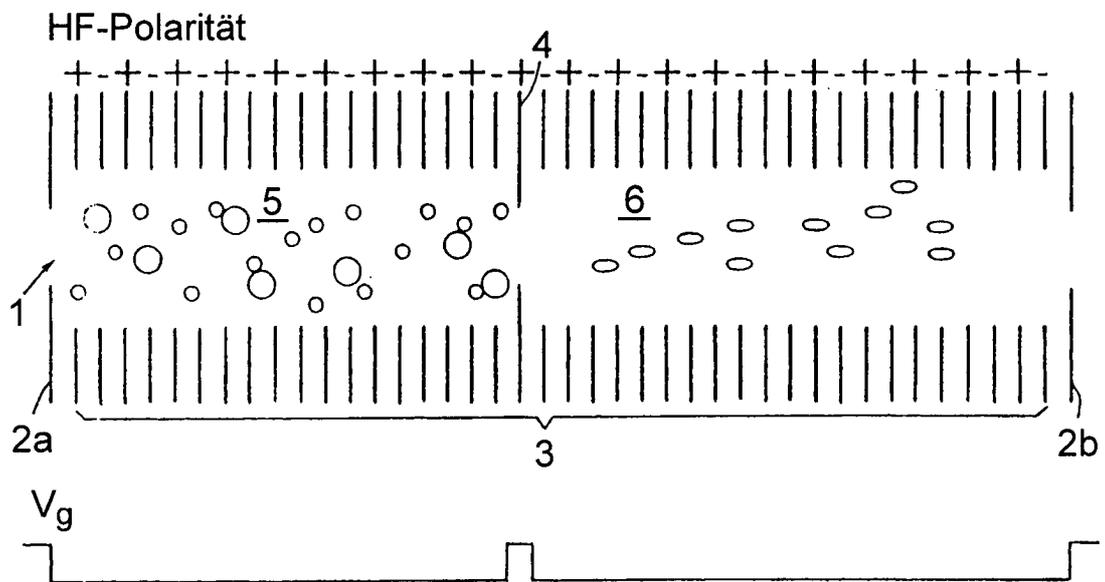
Figur 5



Figur 6



Figur 7



Figur 8