



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.11.2018 Patentblatt 2018/46

(51) Int Cl.:
H01J 49/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18170484.2**

(22) Anmeldetag: **03.05.2018**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL 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 RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel**
24148 Kiel (DE)

(72) Erfinder: **Fietzke, Dr. Jan**
24211 Rosenfeld (DE)

(74) Vertreter: **Wallinger, Michael**
Wallinger Ricker Schlotter Tostmann
Patent- und Rechtsanwälte Partnerschaft mbB
Zweibrückenstrasse 5-7
80331 München (DE)

(30) Priorität: **10.05.2017 DE 102017004504**

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERFASSEN VON ELEKTRISCH GELADENEN TEILCHEN EINES TEILCHENSTROMS SOWIE SYSTEM ZUR ANALYSE VON IONISIERTEN KOMPONENTEN EINES ANALYTEN**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erfassen von elektrisch geladenen Teilchen eines aus einer Teilchenquelle extrahierten Teilchenstroms, insbesondere eines aus einem Plasma einer Plasmaquelle extrahierten Ionenstroms oder eines aus einer Elektronenquelle extrahierten Elektronenstrahls, sowie ein System zum Analysieren von Komponenten eines Analyten. Dabei wird wenigstens eines von einer Messsonde erzeugtes Messsignal erfasst, wobei

die Messsonde derart in dem aus der Teilchenquelle extrahierten Teilchenstrom angeordnet und/oder ausgebildet ist, dass wenigstens ein Teil von Teilchen des Teilchenstroms auf die Messsonde trifft und/oder die Messsonde passiert und das dabei erzeugte Messsignal durch die Anzahl der auftreffenden bzw. passierenden Teilchen charakterisiert ist. Zudem wird das wenigstens eine erfasste Messsignal gespeichert.

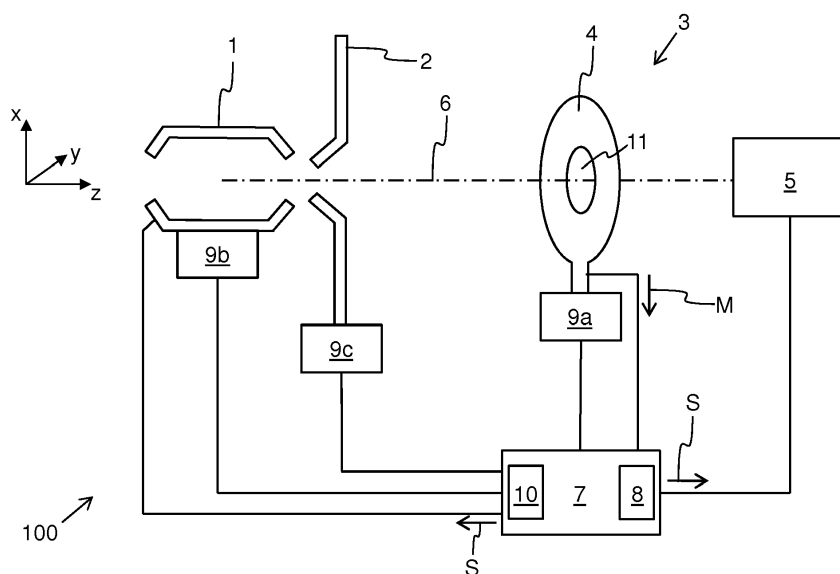


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erfassen von elektrisch geladenen Teilchen eines aus einer Teilchenquelle extrahierten Teilchenstroms sowie ein System zur Analyse von ionisierten Komponenten eines Analyten mit einer solchen Vorrichtung.

[0002] Verschiedene aus dem Stand der Technik bekannte Analysemethoden bedienen sich eines Teilchenstroms von elektrisch geladenen Teilchen, welche aus einer Teilchenquelle extrahiert werden. Zur Durchführung von Spurenanalysen sind beispielsweise Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS) bekannt. Dabei wird in einer Plasmaquelle durch Anlegen eines hochfrequenten Wechselfeldes ein Plasma eines Plasmamediums erzeugt, in welches ein Trägermedium eingeführt wird. Im Messbetrieb trägt das Trägermedium einen Analyten, beispielsweise durch Laserablation erzeugte Partikel eines Festkörpers. Die Bestandteile des Analyten, insbesondere einzelne Atome und/oder deren Isotope, sind im Plasma ionisierbar und können über Lochblenden, sogenannte Sampler oder Skimmer Cones, aus dem Plasma als Ionenstrahl herausgeführt und anschließend in einem Massenspektrometer analysiert werden.

[0003] Die Ergebnisse einer solchen massenspektrometrischen Analyse und/oder deren Zuverlässigkeit hängen bzw. hängt dabei von den Plasmabedingungen in der Plasmaquelle ab. Es ist beispielsweise bekannt, dass das Verhältnis der Anzahl von Detektionssignalen unterschiedlicher Spurenelemente zueinander bei einer hohen Plasmatemperatur temperaturunabhängig ist, während bei niedrigen Plasmatemperaturen eine Temperaturabhängigkeit der relativen Verhältnisse der Elemente beobachtet wurde.

[0004] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, das Erfassen von elektrisch geladenen Teilchen eines aus einer Teilchenquelle extrahierten Teilchenstroms zu verbessern, insbesondere eine gezielte Analyse von Eigenschaften der Teilchenquelle und/oder des Teilchenstroms zu erleichtern.

[0005] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erfassen von elektrisch geladenen Teilchen eines aus einer Teilchenquelle extrahierten Teilchenstroms sowie ein System zur Analyse von ionisierten Komponenten eines Analyten mit einer solchen Vorrichtung gemäß den unabhängigen Ansprüchen.

[0006] Ein erfindungsgemäßes Verfahren betrifft das Erfassen elektrisch geladener Teilchen eines aus einer Teilchenquelle extrahierten Teilchenstroms, insbesondere eines aus einem Plasma einer Plasmaquelle extrahierten Ionenstroms oder eines aus einer Elektronenquelle extrahierten Elektronenstrahls, mit den Schritten: Erfassen wenigstens eines von einer Messsonde erzeugten Messsignals, wobei die Messsonde derart in

dem aus der Teilchenquelle extrahierten Teilchenstrom angeordnet und/oder ausgebildet ist, dass wenigstens ein Teil von Teilchen des Teilchenstroms auf die Messsonde trifft und/oder die Messsonde passiert und das dabei erzeugte Messsignal durch die Anzahl der auftretenden bzw. passierenden Teilchen charakterisiert ist; und Speichern des wenigstens einen erfassten Messsignals.

[0007] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Erfassen von elektrisch geladenen Teilchen eines aus einer Teilchenquelle extrahierten Teilchenstroms, insbesondere eines aus einem Plasma einer Plasmaquelle oder eines aus einer Elektronenquelle extrahierten Elektronenstrahls, weist eine Messsonde auf, welche derart in oder an dem aus der Teilchenquelle extrahierten Teilchenstrom angeordnet und/oder derart ausgebildet ist, dass wenigstens ein Teil von Teilchen des Teilchenstroms auf die Messsonde trifft und/oder die Messsonde passiert. Die Messsonde ist vorzugsweise dazu eingerichtet, wenigstens ein durch die Anzahl der auftretenden bzw. passierenden Teilchen charakterisiertes Messsignal zu erzeugen. Die Vorrichtung weist zudem eine Speichereinrichtung auf, welche dazu eingerichtet ist, das von der Messsonde erzeugte Messsignal zu speichern.

[0008] Ein erfindungsgemäßes System zur Analyse von ionisierten Komponenten eines Analyten weist eine Plasmaquelle zur Erzeugung eines induktiv gekoppelten Plasmas, aus welchem ein Ionenstrom extrahierbar ist, auf. Das System weist zudem eine erfindungsgemäße Vorrichtung und eine Analysevorrichtung, insbesondere ein Massenspektrometer, welches derart in dem Ionenstrom angeordnet ist, dass Ionen des Ionenstroms analysiert werden können, auf.

[0009] Ein Aspekt der Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass der aus der Teilchenquelle herausgeführte Teilchenstrom Informationen über die Eigenschaften der Teilchenquelle und/oder des Teilchenstroms enthält. Eine Analyse des Teilchenstroms, insbesondere das Erfassen einer Teilchendichte, kann ein Maß für verschiedene physikalische Eigenschaften der Teilchenquelle, insbesondere einer Plasmatemperatur, einer Ladungsträgerdichte, einer Partikeldichte, eines Ionisationsgrads und/oder die räumliche Verteilung der Teilchen im Teilchenstrom, liefern. Dies gilt insbesondere in einem stabilen Betrieb der Teilchenquelle, in welchem beispielsweise ein Plasma einer Plasmaquelle in einen stationären Zustand übergeht bzw. übergegangen ist und die physikalischen Eigenschaften eine für diesen stationären Zustand charakteristische räumliche Verteilung aufweisen. Diese kann beispielsweise im Wesentlichen von einer mittels eines hochfrequenten Wechselfeldes eingespeisten Leistung, einem Plasma-, einem Trägermedium und/oder deren Zuflussraten bestimmt werden.

[0010] Der aus der Teilchenquelle austretende Teilchenstrom, insbesondere dessen Profil und/oder Verlauf, kann durch geeignete Messgrößen, etwa ein elektrisches Potenzial, einen elektrischen Strom, eine elek-

trische Kapazität und/oder dergleichen, charakterisiert werden. Dadurch sind Eigenschaften des Teilchenstroms und/oder der Teilchenquelle zuverlässig ermittelbar, insbesondere berechnen- oder zumindest abschätzbar. Dies ermöglicht unter anderem eine gezielte Steuerung der Teilchenquelle und/oder eine Änderung bzw. Anpassung von Betriebsparametern der Teilchenquelle. Insbesondere kann eine mittels des hochfrequenten Wechselfeldes eingespeiste Leistung in eine Plasmaquelle, ein verwendetes Plasma- und/oder Trägermedium und/oder deren Zuflussraten an gewünschte Plasumbedingungen angepasst werden.

[0011] Alternativ oder zusätzlich ermöglichen die ermittelten Eigenschaften des Teilchenstroms und/oder der Teilchenquelle eine Definition eines Zustands des Teilchenstroms und/oder der Teilchenquelle, so dass beispielsweise Messungen an einem Analyten mittels des Teilchenstroms in diesem definierten Zustand vergleichbar und/oder reproduzierbar werden. Zusätzlich wird so auch ein Test oder eine Eichung der Teilchenquelle bzw. eines Systems mit einer Teilchenquelle und/oder einer Analysevorrichtung ermöglicht.

[0012] Insgesamt ermöglicht die Erfindung eine zuverlässige Erfassung von elektrisch geladenen Teilchen eines aus einer Teilchenquelle extrahierten Teilchenstroms, insbesondere eine präzise Analyse der Eigenschaften des Teilchenstroms und/oder der Teilchenquelle.

[0013] Die erfassten elektrisch geladenen Teilchen des Teilchenstroms entsprechen vorzugsweise den in einem Plasma einer Plasmaquelle erzeugten Ionen eines Plasmamediums, beispielsweise Argonionen.

[0014] In einer bevorzugten Ausführung wird wenigstens eine Eigenschaft der Teilchenquelle auf Basis des wenigstens einen gespeicherten Messsignals ermittelt. Vorzugsweise wird dabei anhand des Messsignals, insbesondere eines Spannungssignals, die Intensität des Teilchenstroms und/oder die räumliche Verteilung der Teilchen im Teilchenstrom ermittelt. Dadurch lassen sich Eigenschaften des Teilchenstroms und/oder der Teilchenquelle, beispielsweise die Temperatur, Ladungsträgerdichte, Partikeldichte und/oder der Ionisationsgrad einer Plasmaquelle bzw. eines von der Plasmaquelle erzeugten Plasmas zuverlässig und präzise bestimmen.

[0015] In einer weiteren bevorzugten Ausführung wird die wenigstens eine Eigenschaft der Teilchenquelle anhand eines Vergleichs des gespeicherten Messsignals mit wenigstens einem gespeicherten Referenzsignal ermittelt. Vorzugsweise charakterisiert das Referenzsignal einen definierten Zustand der Teilchenquelle mit bekannten Eigenschaften. Weicht das Messsignal von dem Referenzsignal ab, wird bevorzugt anhand einer Differenz zwischen dem Messsignal und dem Referenzsignal auf Grundlage des definierten Zustands der Teilchenquelle mit bekannten Eigenschaften auf einen tatsächlichen Zustand bzw. entsprechende Eigenschaften des Teilchenstroms und/oder der Teilchenquelle geschlossen, beispielsweise anhand einer Extrapolation abgeschätzt.

Dabei kann das Referenzsignal zum Vergleich mit dem gespeicherten Messsignal in einer Speicherungseinrichtung, beispielsweise einer Datenbank, vorliegen.

[0016] Durch die Berücksichtigung des Referenzsignals kann die wenigstens eine Eigenschaft der Teilchenquelle und/oder des Teilchenstroms besonders zuverlässig und präzise bestimmt werden.

[0017] In einer weiteren bevorzugten Ausführung weist das Verfahren des Weiteren die folgenden Schritte auf: Ermitteln des wenigstens einen Referenzsignals durch Erfassen von wenigstens einem Messsignal in einem definierten Zustand der Teilchenquelle mit bekannten Eigenschaften oder durch Berechnen eines parametrisierten Modells der Teilchenquelle und/oder des extrahierten Teilchenstroms; und Speichern des wenigstens einen ermittelten Referenzsignals. Dabei können sich die Parameter des Modells auf die Art der von der Teilchenquelle zur Verfügung gestellten Teilchen und/oder deren Eigenschaften, beispielsweise deren Ladung, Masse und dergleichen, beziehen. Bevorzugt werden diese Schritte vor dem Erfassen des wenigstens einen Messsignals ausgeführt. Dadurch kann das Messsignal bzw. die Messsonde einfach und zuverlässig geeicht werden.

[0018] In einer weiteren bevorzugten Ausführung wird wenigstens eines der folgenden Signale auf Basis der wenigstens einen ermittelten Eigenschaft der Teilchenquelle erzeugt: ein Steuerungssignal zur Steuerung der Teilchenquelle; ein Wartungssignal, welches eine Empfehlung oder eine Notwendigkeit zur Wartung der Teilchenquelle betrifft; und/oder ein Hinweissignal, welches die ermittelte Eigenschaft der Teilchenquelle betrifft.

[0019] Anhand eines Steuerungssignals kann die Teilchenquelle bzw. der Teilchenstrom gezielt in einen vorgegebenen Zustand überführt werden, d.h. vorgegebene Eigenschaften der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms eingestellt werden. Dadurch ist es insbesondere möglich, die Teilchenquelle bzw. den Teilchenstrom zu justieren, beispielsweise durch Positionieren von zum Extrahieren von elektrisch geladenen Teilchen aus der Teilchenquelle eingerichteten Extraktionsvorrichtungen (Samplern oder Skimmer Cones), Steuern von ionenoptischen Linsen einer Analysevorrichtung und/oder Regulieren von Zuflussraten eines Gasflusses eines Plasma- und/oder Trägermediums und/oder Regulieren einer Leistungszufuhr der Teilchenquelle, beispielsweise eines Hochfrequenzwechselfelds zur Erzeugung eines Plasmas. Insbesondere können durch das Steuerungssignal die Plasumbedingungen in einer Plasmaquelle eingestellt werden, beispielsweise die Plasmatemperatur, die Ladungsträgerdichte, die Partikeldichte und/oder der Ionisationsgrad.

[0020] Dabei kann die Teilchenquelle bzw. der Teilchenstrom anhand des Steuerungssignals automatisch, beispielsweise von einer Steuerungseinrichtung, insbesondere einer Regelungseinheit, gesteuert werden. Alternativ kann das Steuerungssignal einem Benutzer der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms ausgegeben werden, so dass der Benutzer die Teilchenquelle bzw.

den Teilchenstrom anhand Steuerungssignals, insbesondere manuell, steuern kann.

[0021] Anhand eines Wartungssignals kann einem Benutzer der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms signalisiert werden, dass eine Wartung, beispielsweise eine Justage und/oder eine Reparatur bzw. ein Austausch einer oder mehrerer Komponenten der Teilchenquelle notwendig ist, um eine zuverlässige Nutzung der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms zu ermöglichen. Alternativ oder zusätzlich kann das Wartungssignal auch an einen Hersteller oder Vertreiber der Teilchenquelle bzw. eines Systems zur Analyse von Komponenten eines Analyten übermittelt werden, beispielsweise über einen Internetdienst. Dadurch wird eine zuverlässige Funktion der Teilchenquelle dauerhaft ermöglicht.

[0022] Anhand eines Hinweissignal kann ein Benutzer der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms darüber informiert werden, welche Eigenschaften die Teilchenquelle bzw. der Teilchenstrom aufweist. Gegebenenfalls kann der Benutzer seine Benutzung der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms anhand des Hinweissignals an den Zustand der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms, d.h. deren Eigenschaften, anpassen bzw. diese(n) bei seiner Benutzung berücksichtigen. Insbesondere wird anhand des Hinweissignals eine reproduzierbare Benutzung der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms ermöglicht. Vorzugsweise kann der Benutzer anhand des Hinweissignals ein Steuerungssignal erzeugen bzw. dessen Erzeugung veranlassen.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausführung wird die Teilchenquelle anhand des Steuerungssignals in der Weise gesteuert, dass die Differenz zwischen wenigstens einem erneut erfassten Messsignal und wenigstens einem gespeicherten Referenzsignal, insbesondere gegenüber der Differenz zwischen dem gespeicherten Messsignal und dem wenigstens einen gespeicherten Referenzsignal, verringert wird. Das Referenzsignal entspricht dabei bevorzugt einem Sollwert und das Messsignal bzw. das erneute Messsignal entspricht dabei bevorzugt einem Istwert, wobei der Istwert auf den Sollwert im Rahmen eines Regelkreises geregelt werden kann. Dadurch wird eine einfache und zuverlässige Anpassung des tatsächlichen bzw. aktuellen Zustands der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms mit entsprechenden Eigenschaften an einen definierten und/oder vorgegebenen Zustand, in welchem die Teilchenquelle und/oder der Teilchenstrom definierte und/oder vorgegebene Eigenschaften aufweist, ermöglicht.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausführung wird das Verfahren iterativ wiederholt, bis das wenigstens eine erneut erfasste Messsignal dem wenigstens einen gespeicherten Referenzsignal im Wesentlichen entspricht. Vorzugsweise wird dabei in jedem Iterationsschritt des Verfahrens bewertet, wie stark sich das jeweils erneut erfasste Messsignal gegenüber dem gespeicherten Referenzsignal durch Steuerung der Teilchenquelle anhand des Steuerungssignals im aktuellen Iterationsschritt geändert hat, und das Steuerungssignal für den nächsten

Iterationsschritt auf Basis der Bewertung erzeugt. Dadurch wird eine zuverlässige Überführung des aktuellen Zustands der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms in den definierten und/oder vorgegebenen Zustand ermöglicht.

[0025] In einer weiteren bevorzugten Ausführung wird anhand des Steuerungssignals eine Position der Teilchenquelle und/oder die Position mindestens einer die von der Teilchenquelle zur Verfügung gestellten Teilchen extrahierenden Extraktionsvorrichtung relativ zur Messsonde eingestellt wird. Alternativ oder zusätzlich wird anhand des Steuerungssignals die Anzahl der pro Zeiteinheit von der Teilchenquelle zur Verfügung gestellten und/oder aus der Teilchenquelle extrahierten Teilchen eingestellt und/oder eine räumliche Verteilung der aus der Teilchenquelle extrahierten Teilchen innerhalb des Teilchenstroms eingestellt.

[0026] Vorzugsweise kann bzw. können anhand des Steuerungssignals eine oder mehrere Positioniereinrichtungen, beispielsweise Aktoren, welche mit der Teilchenquelle und/oder einer oder mehreren Extraktionsvorrichtungen wirkverbunden sind, betätigt werden, so dass die Teilchenquelle und/oder die Extraktionsvorrichtungen relativ zur Messsonde bewegt werden können. Dadurch kann insbesondere die Ausbreitungsrichtung und/oder das Profil des Teilchenstroms geändert, insbesondere eingestellt, werden.

[0027] Alternativ oder zusätzlich kann anhand des Steuerungssignals die Zuflussrate des Gasflusses des Plasma- und/oder Trägermediums oder die Phase eines Wechselfelds zur Erzeugung eines Plasmas in einer Plasmaquelle und/oder eine Zuflussrate eines Plasmamediums, beispielsweise Argon, gesteuert werden. Dadurch können Eigenschaften des Plasmas bzw. der Plasmaquelle und/oder eines aus der Plasmaquelle extrahierten Ionenstroms, insbesondere die räumliche Verteilung von Teilchen im Plasma der Plasmaquelle, der Ionisationsgrad in der Plasmaquelle und/oder die Temperatur in der Plasmaquelle, zuverlässig und gezielt eingestellt werden.

[0028] Die vorangehend beschriebene Justage der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms kann vorteilhaft ohne den Einsatz und Verbrauch eines Analyten bzw. eines Trägermediums durchgeführt werden. Als elektrisch geladene Teilchen des Teilchenstroms dienen dabei bevorzugt in dem Plasma der als Plasmaquelle ausgebildeten Teilchenquelle erzeugten Ionen eines Plasmamediums, beispielsweise Argonionen.

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausführung weist die Analysevorrichtung, insbesondere das Massenspektrometer, und/oder die Teilchenquelle, insbesondere die Plasmaquelle, eine ionenoptische Linse auf welche als Messsonde der Vorrichtung ausgebildet ist. Dadurch ist es möglich, eine Komponente oder mehrere Komponenten eines bereits vorhandenen Systems mit einer Teilchenquelle und/oder einer Analysevorrichtung zur Erfassung von elektrisch geladenen Teilchen des aus der Teilchenquelle extrahierten Teilchenstroms zu verwenden.

Insbesondere kann ein solches System einfach um eine Vorrichtung zur Erfassung von elektrisch geladenen Teilchen des aus der Teilchenquelle extrahierten Teilchenstroms erweitert werden.

[0030] Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren, in denen durchgängig dieselben Bezugszeichen für dieselben oder einander entsprechende Elemente der Erfindung verwendet werden. Es zeigen wenigstens teilweise schematisch:

Fig. 1 ein Beispiel eines Systems zur Analyse von Komponenten eines Analyten;

Fig. 2 ein Beispiel einer Messsonde;

Fig. 3 ein erstes Beispiel eines Verlaufs eines Messsignals; und

Fig. 4 ein zweites Beispiel von Verläufen eines Messsignals.

[0031] In Figur 1 ist ein Beispiel eines Systems 100 zur Analyse von Komponenten eines Analyten dargestellt. Das System 100 weist eine Teilchenquelle 1, eine Extraktionsvorrichtung 2, eine Analysevorrichtung 5 und eine Vorrichtung 3 zum Erfassen von elektrisch geladenen Teilchen mit einer Messsonde 4 und einer Steuerungseinrichtung 7 auf. Zum besseren Verständnis von Richtungsangaben ist neben der Teilchenquelle 1 ein Koordinatensystem eingezeichnet, welches eine x-Achse, eine y-Achse und eine z-Achse ausweist.

[0032] Die Teilchenquelle 1 ist dazu eingerichtet, elektrisch geladene Teilchen zur Verfügung zu stellen. Die Teilchenquelle 1 kann beispielsweise als Plasmaquelle ausgebildet sein, welche zur induktiven Erzeugung eines Plasmas mittels eines hochfrequenten Wechselfelds eingerichtet ist. Die elektrisch geladenen Teilchen können von der Extraktionsvorrichtung 2, beispielsweise einem Sampler und/oder Skimmer Cone, in Form eines Teilchenstroms 6 aus der Teilchenquelle 1 extrahiert werden. Der Teilchenstrom 6 enthält beispielsweise Ionen eines der Plasmaquelle 1 zur Erzeugung des Plasmas zugeführten Plasmamediums, etwa Argonionen. Eigenschaften des Teilchenstroms 6, beispielsweise die Stärke bzw. Intensität des Teilchenstroms 6, d.h. die Anzahl der pro Zeiteinheit extrahierten elektrisch geladenen Teilchen, hängt dabei von den Bedingungen, insbesondere Plasmabedingungen, am Ort der Extraktion der Teilchen, d.h. dem Zustand der Teilchenquelle 1, ab. Zusätzlich können die Eigenschaften des Teilchenstroms 6 aber auch von der Extraktionsvorrichtung 2, insbesondere deren Position relativ zur Teilchenquelle 1, abhängen.

[0033] Die elektrisch geladenen Teilchen des Teilchenstroms 6 bewegen sich in einer Ausbreitungsrichtung entlang der z-Achse auf die Analysevorrichtung 5 zu, welche beispielsweise Ionen eines der Plasmaquelle

zugeführten Analyten massenspektroskopisch analysieren kann. Dabei passiert der Teilchenstrom 6 die Messsonde 4, welche in der vorliegenden Figur beispielhaft als Lochblende ausgebildet ist. Ein zentraler Teil des Teilchenstroms 6 führt durch eine zentrale Öffnung 11 der Lochblende hindurch. Da der Teilchenstrom 6 jedoch divergent ist, trifft ein Teil der elektrisch geladenen Teilchen, insbesondere ein Randstrom des Teilchenstroms 6, auf die Lochblende. Die dabei von der Messsonde 4 gesammelte elektrische Ladung kann beispielsweise als elektrische Spannung von der Steuerungseinrichtung 7 erfasst bzw. an die Steuerungseinrichtung 7 abgeführt und als elektrischer Strom gemessen werden.

[0034] Die Steuerungseinrichtung 7 weist eine Speichereinrichtung 8 auf, welche dazu eingerichtet ist, die von der Messsonde 4 erzeugten Messsignale M, d.h. den elektrischen Spannungen oder elektrischen Strömen entsprechende Informationen, zu speichern. Ein oder mehrere gespeicherte Messsignale M können dann von der Steuerungseinrichtung 7, insbesondere als Meßreihe, (weiter)verarbeitet, insbesondere analysiert, werden.

[0035] Anhand des einen oder der mehreren gespeicherten Messsignale M kann die Steuerungseinrichtung 7 Eigenschaften des Teilchenstroms 6 und/oder der Teilchenquelle 1 und vorzugsweise auch der Extraktionsvorrichtung 2 ermitteln. Dabei betreffen die Eigenschaften der Teilchenquelle 1 beispielsweise den Zustand der Teilchenquelle 1 bzw. des Plasmas in der Teilchenquelle 1, etwa eine Temperatur, eine Ionendichte und/oder eine räumliche Position, insbesondere relativ zur Extraktionsvorrichtung 2, zur Messsonde 4 und/oder zur Analysevorrichtung 5.

[0036] Die Eigenschaften des Teilchenstroms 6 betreffen beispielsweise die räumliche Verteilung der elektrisch geladenen Teilchen im Teilchenstrom, d.h. das Stromprofil, insbesondere entlang der x-Achse und/oder der y-Achse, und/oder die Intensität des Teilchenstroms 6, d.h. die Anzahl der pro Zeiteinheit durch eine Fläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung hindurchtretenden elektrisch geladenen Teilchen.

[0037] Die Eigenschaften der Extraktionsvorrichtung 2 betreffen beispielsweise den Durchmesser einer Durchtrittsöffnung einer Lochblende, insbesondere eines sog. Samplers oder sog. Skimmer Cones, an welcher sich Teilchen des Teilchenstroms 6 absetzen können, so dass sich der Durchmesser der Durchtrittsöffnung verringert und weniger Teilchen aus der Teilchenquelle 1 extrahiert werden können.

[0038] Um eine räumliche Verteilung der elektrisch geladenen Teilchen im Teilchenstrom 6 in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Teilchenstroms 6, d.h. in der x-y-Ebene, zu ermitteln, kann die Lochblende in verschiedene Messpositionen in der x-y-Ebene, beispielsweise entlang der x-Achse, verbracht werden. Dazu ist die Messsonde 4 mit einer von der Steuerungseinrichtung 7 steuerbaren Positioniereinrichtung 9a, beispielsweise einem oder mehreren Aktoren, gekoppelt. In jeder der Messpositionen kann dann ein von der Loch-

blende erzeugtes Messsignal M erfasst und in der Speichereinrichtung 8 gespeichert werden, wobei die gespeicherten Messsignale M Rückschlüsse auf die räumliche Verteilung der Teilchen im Teilchenstrom 6 erlauben. Der Verlauf der Messsignale M entlang der x-Achse bzw. der y-Achse wird weiter unten ausführlich in Zusammenhang mit Figur 2 erläutert.

[0039] Basierend auf den ermittelten Eigenschaften von Teilchenquelle 1, Extraktionsvorrichtung 2 und/oder Teilchenstrom 6 kann die Steuerungseinrichtung 7 die Teilchenquelle 1, die Extraktionsvorrichtung 2 und/oder die Analysevorrichtung 5 steuern.

[0040] Die Steuerungseinrichtung 7 kann beispielsweise ein Steuersignal S zur Steuerung der Teilchenquelle 1 generieren, anhand dessen eine der Teilchenquelle 1 zugeführte Leistung, eine Zuflussrate Plasmamediums und/oder eine Zuflussrate Trägermediums des Analyten geregelt werden kann.

[0041] Alternativ oder zusätzlich kann die Steuerungseinrichtung 7 eine mit der Teilchenquelle 1 gekoppelten Positioniereinrichtung 9b derart steuern, dass die Teilchenquelle 1 relativ zur Extraktionsvorrichtung 2, der Messsonde 4 und/oder der Analysevorrichtung 5, insbesondere entlang der x-Achse und/oder der y-Achse, ausgerichtet werden kann.

[0042] Wird beispielsweise anhand des einen oder der mehreren gespeicherten Messsignale M festgestellt, dass der Teilchenstrom 6 nicht oder nur ungenügend genau auf die Analysevorrichtung 5, insbesondere eine Einlassöffnung der Analysevorrichtung 5, trifft, kann die Teilchenquelle 1 mittels der von der Steuerungseinrichtung 7 gesteuerten Positioniereinrichtung 9b der Weise, insbesondere entlang der x-Achse und/oder der y-Achse, positioniert werden, dass der aus der Teilchenquelle 1 extrahierte Teilchenstrom 6 zentriert auf die Analysevorrichtung 5, insbesondere deren Einlassöffnung, trifft.

[0043] Alternativ oder zusätzlich kann auch die Extraktionsvorrichtung 2, welche mit einer von der Steuerungseinrichtung 7 steuerbaren Positioniereinrichtung 9c gekoppelt ist, unter Berücksichtigung der gespeicherten Messsignale M entlang der x-Achse und/oder entlang der y-Achse Verfahren werden, um beispielsweise Teilchen in der Weise aus der Teilchenquelle 1 zu extrahieren, dass der Teilchenstrom 6 zentriert auf die Analysevorrichtung 5, insbesondere deren Einlassöffnung, trifft.

[0044] Bevorzugt wird die Teilchenquelle 1 relativ zur Messsonde 4 bewegt, wobei die Messsonde 4 und die Extraktionsvorrichtung 2, beispielsweise eine jeweilige Extraktionsblende, starr miteinander verbunden sind, wodurch anhand der Auswertung des Messsignals M eine optimale Positionierung der Teilchenquelle 1, etwa in Bezug auf die Analysevorrichtung 5, und damit der gesamten Messanordnung erreichbar ist.

[0045] Alternativ können aber auch die Teilchenquelle 1 und die Extraktionsvorrichtung 2, beispielsweise eine jeweilige Extraktionsblende, starr miteinander verbunden sein. Auch hierbei ist durch Auswertung des Messsignals M und einer entsprechenden Bewegung der Teil-

chenquelle 1 eine optimale Positionierung der Teilchenquelle 1, etwa in Bezug auf die Analysevorrichtung 5, und damit der gesamten Messanordnung erreichbar.

[0046] Ebenso kann auch die Analysevorrichtung 5, insbesondere ein oder mehrere Magnetfelder der Analysevorrichtung 5 zur Führung des Teilchenstroms 6 innerhalb der Analysevorrichtung 5, unter Berücksichtigung der gespeicherten Messsignale M anhand des von der Steuerungseinrichtung 7 erzeugten Steuerungssignals S gesteuert werden, so dass Komponenten eines im Teilchenstrom 6 enthaltenen Analyten zuverlässig analysiert werden können.

[0047] Vorzugsweise ist die Speicherungseinrichtung 8 auch dazu eingerichtet, ein oder mehrere Referenzsignale zu speichern, mit denen die von der Messsonde 4 erzeugten Messsignale M verglichen werden können. Solche Referenzsignale beziehen sich beispielsweise auf eine vorgegebene, insbesondere optimierte, Positionierung der Teilchenquelle 1 und/oder der Extraktionsvorrichtung 2 relativ zur Analysevorrichtung 5. Stimmen das oder die erzeugten Messsignale M nicht oder nicht ausreichend genau mit dem oder den Referenzsignalen überein, kann die Steuerungseinrichtung 7 ein entsprechendes Steuerungssignal S zur Steuerung der Teilchenquelle 1, der Analysevorrichtung 5 und/oder der mit der Teilchenquelle 1 bzw. der Extraktionsvorrichtung 2 gekoppelten Positioniereinrichtung 9b, 9c erzeugen, so dass ein oder mehrere erneut von der Messsonde 4 erzeugte Messsignale M nicht oder nur noch weniger stark von dem oder den Referenzsignalen abweichen.

[0048] Dazu kann die Steuerungseinrichtung 7 eine Regeleinheit 10 aufweisen, welche einen vorgegebenen Zustand der Teilchenquelle 1 bzw. des Systems 100, beispielsweise eine bestimmte Stärke bzw. Intensität des Teilchenstroms 6 und/oder dessen Ausrichtung bzw. Ausbreitungsrichtung relativ zur Analysevorrichtung 5, basierend auf dem Vergleich der (erneut) erfassten Messsignale mit den gespeicherten Referenzsignalen herstellen kann.

[0049] Alternativ oder zusätzlich kann die Steuerungseinrichtung 7 auch dazu eingerichtet sein, ein Wartungssignal und/oder ein Hinweissignal zu erzeugen und an eine Servicestelle zu übermitteln bzw. einem Benutzer des Systems 100 auszugeben.

[0050] Ein solches Wartungssignal kann beispielsweise ausgegeben werden oder an eine Servicestelle übermittelt werden, wenn anhand der gespeicherten Messsignale, insbesondere anhand eines Vergleichs der gespeicherten Messsignale mit den gespeicherten Referenzsignalen, ermittelt wird, dass die Teilchenquelle gewartet, beispielsweise neu justiert, und/oder Komponenten der Teilchenquelle bzw. der Extraktionsvorrichtung 2 ausgetauscht bzw. repariert werden müssen. Dieser Fall kann sich etwa ergeben, wenn die Anzahl der in der Teilchenquelle 1 pro Zeiteinheit zur Verfügung gestellten Teilchen bzw. die Stärke des Teilchenstroms 6 (dauerhaft) zu hoch gewählt wird, so dass ein Skimmer Cone der Extraktionsvorrichtung 2 beschädigt wird, oder wenn

sich eine Öffnung des Skimmer Cones bei geringen Stärken des Teilchenstroms 6 mit der Zeit zusetzt.

[0051] Das Hinweissignal liefert dem Benutzer in bevorzugter Weise Informationen über den Zustand der Teilchenquelle 1 des Teilchenstroms 6 bzw. des Systems 100. Beispielsweise kann das Hinweissignal die Ausrichtung der Teilchenquelle 1, der Extraktionsvorrichtung 2 und/oder der Analysevorrichtung 5 relativ zueinander betreffen. Auf Basis des Hinweissignals kann der Benutzer dann die relative Ausrichtung dieser Komponenten des Systems 100 ändern, beispielsweise um eine zuverlässige Analyse von im Teilchenstrom 6 enthaltenen Komponenten eines Analyten in der Analysevorrichtung 5 zu ermöglichen.

[0052] Figur 2 zeigt ein Beispiel einer Messsonde 4, welche als Sektorelektrode mit drei Sektoren 4a, 4b, 4c, die eine zentrale Öffnung 11 bilden, ausgebildet ist. Die Messsonde 4 ist vorzugsweise aus einem Material gefertigt, welches eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweist und beständig gegenüber auftreffenden, elektrisch geladenen Teilchen, insbesondere Ionen, ist.

[0053] Elektrisch geladene Teilchen eines die Sektorelektrode passierenden Teilchenstroms 6 weisen in der Ebene der Sektorelektrode, insbesondere entlang der in Figur 1 eingezeichneten x- und y-Achse, eine im Wesentlichen gaußförmige Verteilung auf. In Figur 2 ist die Verteilung entlang der x-Achse beispielhaft dargestellt, wobei das Maximum der Verteilung, d.h. der Ort der höchsten Teilchendichte innerhalb des Teilchenstroms 6 in x- und y-Richtung, auf der z-Achse, entlang der sich der Teilchenstrom 6 ausbreitet (siehe Figur 1), liegt. Da eine räumliche Ausdehnung σ , beispielsweise die Halbwertsbreite der Verteilung, des Teilchenstroms 6 vorzugsweise größer ist als die zentrale Öffnung 11 der Sektorelektrode, trifft ein kleiner Teil von Teilchen aus dem Randbereich des Teilchenstroms 6 auch bei Ausrichtung der z-Achse, d.h. der Ausbreitungsrichtung des Teilchenstroms 6, auf einen Mittelpunkt der zentralen Öffnung 11 (oder umgekehrt) auf die drei Sektoren 4a, 4b, 4c.

[0054] Die dabei durch das Auftreffen der elektrisch geladenen Teilchen des Teilchenstroms 6 auf den Sektoren 4a, 4b, 4c deponierte elektrische Ladung kann über die den Sektoren 4a, 4b, 4c zugeordneten Widerstände R_a , R_b , R_c abfließen und dabei als Spannungssignal von einem der Spannungsmesseinheiten U_a , U_b , U_c erfasst werden.

[0055] Verschiebt sich die die Ausbreitungsrichtung des Teilchenstroms 6 bzw. die z-Achse relativ zum Mittelpunkt der zentralen Öffnung 11, trifft eine erhöhte Anzahl von Teilchen aus dem Teilchenstrom 6 auf einen der Sektoren 4a, 4b, 4c, so dass die entsprechende Spannungsmesseinheit U_a , U_b , U_c ein erhöhtes Spannungssignal erfasst. Dadurch kann die Richtung der Verlagerung der z-Achse bzw. der Ausbreitungsrichtung des Teilchenstroms 6, insbesondere entlang der x- und/oder y-Achse, relativ zum Mittelpunkt der zentralen Öffnung 11 bestimmt werden.

[0056] Alternativ kann die Sektorelektrode auch weni-

ger oder mehr als drei, insbesondere zwei oder vier, Sektoren aufweisen.

[0057] In einer bevorzugten Ausführung kann die Messsonde 4 auch als sog. Iriselektrode (nicht dargestellt) ausgebildet sein, welche eine zentrale Öffnung 11 mit einem einstellbaren Durchmesser aufweist. Dadurch kann die Empfindlichkeit der Messsonde 4, insbesondere die Anzahl der auf die Iriselektrode auftreffenden Teilchen des Teilchenstrahls 6, reguliert werden.

[0058] In einer anderen, bevorzugten Ausführung kann die Messelektroden 4 auch als sog. Koronaelektrode (nicht dargestellt) ausgebildet sein, bei welcher mehrere Sektoren aus radial um die zentrale Öffnung 11 angeordneten Metallspitzen gebildet werden. Die auf den Metallspitzen deponierte Ladung kann einzelnen oder Gruppen abgeleitet und entsprechende Spannungssignale ermittelt werden.

[0059] Figur 3 zeigt ein erstes Beispiel eines Verlaufs V eines Messsignals M entlang einer x-Achse. Das Messsignal M wurde an verschiedenen Messpositionen entlang der x-Achse von einer als ringförmige Elektrode ausgebildeten Messsonde, durch die ein Teilchenstrom elektrisch geladener Teilchen verläuft, erzeugt. Die x-Achse erstreckt sich dabei senkrecht zur Flugrichtung der Teilchen, d.h. der Ausbreitungsrichtung, des Teilchenstroms entlang der z-Achse (siehe Figur 1).

[0060] Der Verlauf V des Messsignals M , etwa eines Spannungssignals, erlaubt sowohl Rückschlüsse auf die Verteilung der Teilchen innerhalb des Teilchenstroms als auch auf die Position des Zentrums des Teilchenstrahls relativ zu einer vorgegebenen Position $x = 0$ der Messsonde.

[0061] Zum Erfassen des Verlaufs V des Messsignals M wird die Messsonde entlang der x-Achse in unterschiedliche Messpositionen verfahren, so dass in jeder Messposition ein unterschiedlich großer Teil von Teilchen aus dem Teilchenstrom auf die Messsonde trifft. Das Minimum $M_{\min}$ des Verlaufs V entspricht dabei dem Zentrum des Teilchenstroms. Dieses Messsignal $M = M_{\min}$ wird erfasst, wenn der Teilchenstrom im Wesentlichen zentral durch die ringförmige Elektrode hindurch tritt und nur Teilchen aus einem Randbereich des Teilchenstroms auf die Messsonde treffen (siehe Figur 2), d.h. die Messsonde entlang der x-Achse so weit verfahren wurde, dass das Zentrum des Teilchenstroms im Mittelpunkt einer zentralen Öffnung der ringförmigen Elektrode liegt.

[0062] Das Minimum $M_{\min}$ liegt entlang der x-Achse zwischen zwei Maxima $M_{\max}$, wobei das Messsignal $M = M_{\max}$ erfasst wird, wenn Teilchen aus dem Zentrum des Teilchenstroms auf die ringförmige Elektrode treffen.

[0063] Basierend auf der Ermittlung des zwischen den Maxima $M_{\max}$ liegenden Minimums $M_{\min}$ und der Lage des Minimums $M_{\min}$ relativ zur vorgegebenen Position $x = 0$ der ringförmigen Elektrode kann beispielsweise ein Steuerungssignal erzeugt werden, anhand dessen eine Teilchenquelle und/oder eine Extraktionsvorrichtung derart gesteuert, insbesondere entlang der x-Achse ver-

fahren, wird, dass der Teilchenstrom zentral durch die ringförmige Elektrode tritt, d.h. das Minimum $M_{\min}$ bei $x = 0$ liegt. Alternativ kann auch die ringförmige Elektrode derart ausgerichtet werden, dass der Teilchenstrom zentral durch die ringförmige Elektrode tritt, d.h. das Minimum $M_{\min}$ bei $x = 0$ liegt.

[0064] Vorzugsweise kann die Ausrichtung des Teilchenstroms auch basierend auf einem Vergleich von einem oder mehreren Messsignalen M mit einem oder mehreren gespeicherten Referenzsignalen (nicht dargestellt) erfolgen. Zu diesem Zweck wird das bzw. werden die Referenzsignale aufgenommen, wenn sichergestellt ist, dass der Teilchenstrom zentral durch die ringförmige Elektrode tritt.

[0065] Der räumliche Abstand der Messpositionen entlang der x -Achse beträgt vorzugsweise zwischen 0,1 mm und 1 mm. In einer bevorzugten Ausführung wird der Verlauf V zur Ausrichtung der Teilchenquelle bzw. der Extraktionsvorrichtung relativ zur Messsonde, insbesondere zu einer vorgegebenen Position der Messsonde, mehr als einmal bestimmt. Insbesondere wird bei einer zweiten oder einer folgenden Bestimmung des Verlaufs V der räumliche Abstand der Messepositionen entlang der x -Achse kleiner gewählt, insbesondere zwischen 0,05 mm und 0,1 mm.

[0066] Analog zu dem in Figur 3 dargestellten Verlauf V des Messsignals M entlang einer x -Achse kann auch der Verlauf des Messsignals M entlang einer senkrecht auf der x -Achse stehenden y -Achse (siehe Figur 1) ermittelt und entsprechend die Ausrichtung der Teilchenquelle bzw. des Teilchenstroms entlang der y -Achse gesteuert werden. Bei der Ermittlung des Verlaufs V des Messsignals M entlang der x - oder y -Achse wird jeweils die Position der Messsonde auf der y - bzw. x -Achse konstant gehalten. Bevorzugt wird die Position der Messsonde auf der y - oder x -Achse als die Position des jeweiligen Minimums $M_{\min}$ auf der y - bzw. x -Achse gewählt.

[0067] Figur 4 zeigt ein zweites Beispiel von Verläufen U eines Messsignals M entlang einer x -Achse in Abhängigkeit von zweiten Messpositionen entlang einer z -Achse. Für jeden Verlauf wurde das Messsignal M dabei an verschiedenen ersten Messpositionen entlang der x -Achse von einer als ringförmige Elektrode ausgebildeten Messsonde, durch die ein Teilchenstrom elektrisch geladener Teilchen verläuft, erzeugt. Die x -Achse erstreckt sich dabei senkrecht zur Flugrichtung der Teilchen, d.h. der Ausbreitungsrichtung, des Teilchenstroms entlang der z -Achse (siehe Figur 1).

[0068] In dem Beispiel ist die ringförmige Elektrode an dem Minimum $M_{\min}$ der Verläufe U ausgerichtet, so dass das Minimum $M_{\min}$ bei $x = 0$ liegt.

[0069] Die dargestellten Verläufe U des Messsignals M , insbesondere die Form der Verläufe U und die relative Tiefe der Minima $M_{\min}$, d.h. die Differenzen zwischen den Werten des Messsignals M am Ort der Minima $M_{\min}$ und jeweils einem anderen, für die Verläufe U charakteristischen Wert des Messsignals M , beispielsweise eine Mittelwert, sind charakteristisch für einen Zustand einer Teil-

chenquelle, aus der der Teilchenstrom extrahiert wurde. Die dargestellten Verläufe U des Messsignals M sind beispielsweise charakteristisch für einen thermischen Zustand eines Plasmas einer als Plasmaquelle ausgebildeten Teilchenquelle, insbesondere der Ladungsträgerdichteverteilung innerhalb des Plasmas.

[0070] Anhand eines Vergleichs der Verläufe U des Messsignals M mit einem Referenzsignal, insbesondere einem oder mehreren Verläufen des Referenzsignals, kann der Zustand der Teilchenquelle ermittelt werden. Dazu wird das Referenzsignal, insbesondere der eine oder die mehreren Verläufe des Referenzsignals, in einem vorgegebenen, d.h. bekannten bzw. definierten, Zustand der Teilchenquelle, in dem die Teilchenquelle beispielsweise bei einer vorgegebene Leistung betrieben und/oder ein Plasma- bzw. Trägermedium eines Analyten mit einer vorgegebenen Zuflussrate in die Teilchenquelle eingeleitet wird, ermittelt.

[0071] Durch eine Änderung der Betriebsparameter der Teilchenquelle, beispielsweise der vorstehend genannten Leistungszufuhr und/oder der Zuflussraten, kann der Zustand der Teilchenquelle in der Weise geändert werden, dass sich die Differenz zwischen dem Messsignal M oder den Verläufen U des Messsignals M und dem Referenzsignal bzw. den Verläufen des Referenzsignals verringert und der aktuelle Zustand der Teilchenquelle dadurch an den vorgegebenen Zustand angepasst wird.

[0072] Die Ermittlung der in Figur 4 dargestellten Verläufe U des Messsignals M , der Vergleich des Messsignals M oder der Verläufe U des Messsignals M mit dem Referenzsignal bzw. den Verläufen des Referenzsignals und die Änderung der Betriebsparameter kann iterativ wiederholt werden, bis die Teilchenquelle in den vorgegebenen, insbesondere einen zur Verwendung der Teilchenquelle optimalen, Zustand überführt wurde.

[0073] Wird die Teilchenquelle für einen längeren Zeitraum betrieben, kann es zum Niederschlag von in dem Teilchenstrom enthaltenen Teilchen, insbesondere Ionen eines im Teilchenstrom enthaltenen Analyten, an Öffnungen der Extraktionsvorrichtung, beispielsweise eines Samplers oder eines Skimmer Cones, d.h. einer Blende, kommen, so dass die Transmissivität der Extraktionsvorrichtung abnimmt. In einer weiteren Ausführung kann daher das Messsignal M bevorzugt auch zeitabhängig erfasst und mit einem Referenzwert, welcher bevorzugt dem zu Beginn erfassten Messsignal M entspricht, verglichen werden, um Änderungen in der Intensität des Teilchenstroms, das heißt die Anzahl der pro Zeiteinheit aus der Teilchenquelle extrahierten elektrisch geladenen Teilchen, zu identifizieren. Vorzugsweise kann bei Erreichen oder Unterschreiten eines vorgegebenen Messsignalschwellenwerts, welcher beispielsweise einem Transmissionsverlust von 20 % oder mehr entspricht, ein Wartungssignal und/oder ein Hinweissignal erzeugt werden, anhand dessen die Notwendigkeit einer Wartung, insbesondere Reinigung, der Teilchenquelle bzw. der Extraktionsvorrichtung angezeigt wird. Altern-

tiv oder zusätzlich kann anhand einer Änderungsrate des erfassten Messsignals M, insbesondere in Bezug auf das Referenzsignal, eine Zeitdauer, nach deren Ablauf der Messsignalschwellenwert voraussichtlich erreicht oder unterschritten wird, abgeschätzt und gegebenenfalls an einen Benutzer ausgegeben werden. Dadurch können Messungen rechtzeitig beendet werden bzw. deren Ende oder Unterbrechungen geplant werden, so dass im weiterführenden Messbetrieb geringe Transmissionen und einen damit einhergehende Verlust an Datenqualität vermieden werden können.

[0074] Die vorstehend beschriebenen Vorrichtungen und Verfahren können vorzugsweise im Kontext von jeder Art von Teilchenströmen, die elektrisch geladenen Teilchen enthalten, betrieben bzw. angewendet werden. Solche Teilchenströme treten beispielsweise bei Teilchenbeschleunigern, Ionenquellen, extraterrestrischen Messungen und/oder Ionenantrieben auf, welche durch die vorstehend beschriebenen Vorrichtungen und/oder Verfahren überwacht und/oder gesteuert werden können.

Bezugszeichenliste

[0075]

1	Teilchenquelle
2	Extraktionsvorrichtung
3	Vorrichtung zum Erfassen elektrisch geladener Teilchen
4	Messsonde
4a, 4b, 4c	Sektoren
5	Analysevorrichtung
6	Teilchenstrom
7	Steuerungseinrichtung
8	Speicherungseinrichtung
9a, 9b, 9c	Positioniereinrichtungen
10	Regeleinheit
11	zentrale Öffnung
Ra, Rb, Rc	Widerstände
Ua, Ub, Uc	Spannungsmesseinheiten
V	Verlauf des Messsignals
U	Verlauf des Messsignals
M	Messsignal
M _{min}	Minimum
M _{max}	Maximum
S	Steuerungssignal

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erfassen elektrisch geladener Teilchen eines aus einer Teilchenquelle (1) extrahierten Teilchenstroms (6), insbesondere eines aus einem Plasma einer Plasmaquelle extrahierten Ionenstroms oder eines aus einer Elektronenquelle extrahierten Elektronenstrahls, mit den Schritten:

- Erfassen wenigstens eines von einer Messsonde (4) erzeugten Messsignals (M), wobei die Messsonde (4) derart in dem aus der Teilchenquelle (1) extrahierten Teilchenstrom (6) angeordnet und/oder ausgebildet ist, dass wenigstens ein Teil von Teilchen des Teilchenstroms (6) auf die Messsonde (4) trifft und/oder die Messsonde (4) passiert und das dabei erzeugte Messsignal (M) durch die Anzahl der auftretenden bzw. passierenden Teilchen charakterisiert ist; und
- Speichern des wenigstens einen erfassten Messsignals (M).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei wenigstens eine Eigenschaft der Teilchenquelle (1) auf Basis des wenigstens einen gespeicherten Messsignals (M) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die wenigstens eine Eigenschaft der Teilchenquelle (M) anhand eines Vergleichs des gespeicherten Messsignals (M) mit wenigstens einem gespeicherten Referenzsignal ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, des Weiteren aufweisend die folgenden Schritte:

- Ermitteln des wenigstens einen Referenzsignals durch Erfassen von wenigstens einem Messsignal (M) in einem definierten Zustand der Teilchenquelle (1) mit bekannten Eigenschaften oder durch Berechnen eines parametrisierten Modells der Teilchenquelle (1) und/oder des extrahierten Teilchenstroms (6); und
- Speichern des wenigstens einen ermittelten Referenzsignals.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei wenigstens eines der folgenden Signale auf Basis der wenigstens einen ermittelten Eigenschaft der Teilchenquelle (1) erzeugt wird:

- ein Steuerungssignal zur Steuerung der Teilchenquelle (1);
- ein Wartungssignal, welches eine Empfehlung oder eine Notwendigkeit zur Wartung der Teilchenquelle (1) betrifft; und/oder
- ein Hinweissignal, welches die ermittelte Eigenschaft der Teilchenquelle (1) betrifft.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Teilchenquelle (1) anhand des Steuerungssignals in der Weise gesteuert wird, dass die Differenz zwischen wenigstens einem erneut erfassten Messsignal (M) und wenigstens einem gespeicherten Referenzsignal verringert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Verfahren iterativ wiederholt wird, bis das wenigstens eine erneut erfasste Messsignal (M) dem wenigstens einen gespeicherten Referenzsignal im Wesentlichen entspricht. 5
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei anhand des Steuerungssignals
- eine Position der Teilchenquelle (1) und/oder die Position mindestens einer die von der Teilchenquelle (1) zur Verfügung gestellten Teilchen extrahierenden Extraktionsvorrichtung (2) relativ zur Messsonde (4) eingestellt wird; und/oder 10 15
 - die Anzahl der pro Zeiteinheit von der Teilchenquelle (1) zur Verfügung gestellten und/oder aus der Teilchenquelle (1) extrahierten Teilchen eingestellt wird; und/oder
 - eine räumliche Verteilung der aus der Teilchenquelle (1) extrahierten Teilchen innerhalb des Teilchenstroms (6) eingestellt wird. 20
9. Vorrichtung (3) zum Erfassen von elektrisch geladenen Teilchen eines aus einer Teilchenquelle (1) extrahierten Teilchenstroms (6), insbesondere eines aus einem Plasma einer Plasmaquelle oder eines aus einer Elektronenquelle extrahierten Elektronenstrahls, mit: 25 30
- einer Messsonde (4), welche derart in oder an dem aus der Teilchenquelle (1) extrahierten Teilchenstrom (6) angeordnet und/oder derart ausgebildet ist, dass wenigstens ein Teil von Teilchen des Teilchenstroms (6) auf die Messsonde (4) trifft und/oder die Messsonde (4) passiert, und welche dazu eingerichtet ist, wenigstens ein durch die Anzahl der auftreffenden bzw. passierenden Teilchen charakterisiertes Messsignal (M) zu erzeugen; und 35 40
 - eine Speicherungseinrichtung (8), welche dazu eingerichtet ist, das von der Messsonde (4) erzeugte Messsignal (M) zu speichern.
10. System zur Analyse von ionisierten Komponenten eines Analyten mit: 45 50
- einer Plasmaquelle zur Erzeugung eines induktiv gekoppelten Plasmas, aus welchem ein Ionenstrom extrahierbar ist;
 - einer Vorrichtung (3) nach Anspruch 9; und
 - einer Analysevorrichtung (5), insbesondere einem Massenspektrometer, welche derart in dem Ionenstrom angeordnet ist, dass Ionen des Ionenstroms analysiert werden können. 55
11. System nach Anspruch 10, wobei die Analysevorrichtung (5) und/oder die Plasmaquelle eine ionen-

optische Linse aufweist, welche die Messsonde (4) der Vorrichtung (3) bildet.

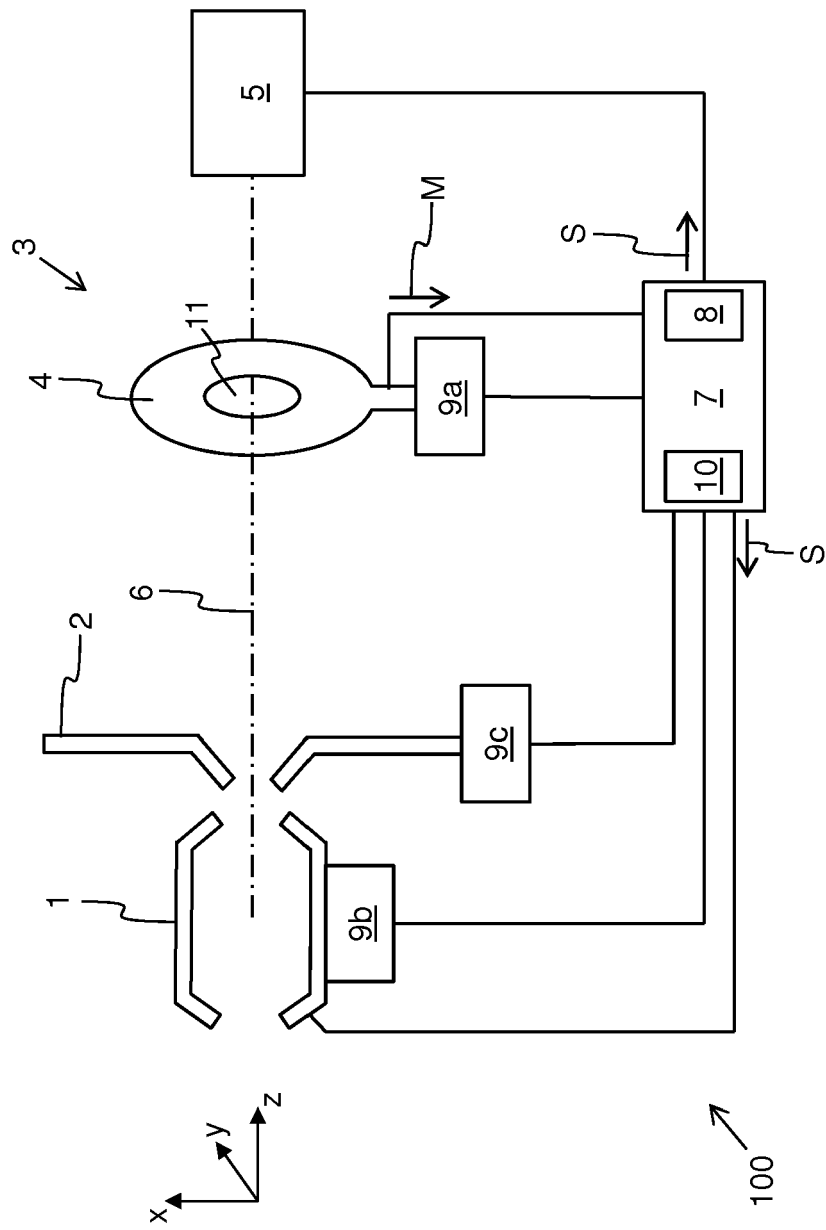


Fig. 1

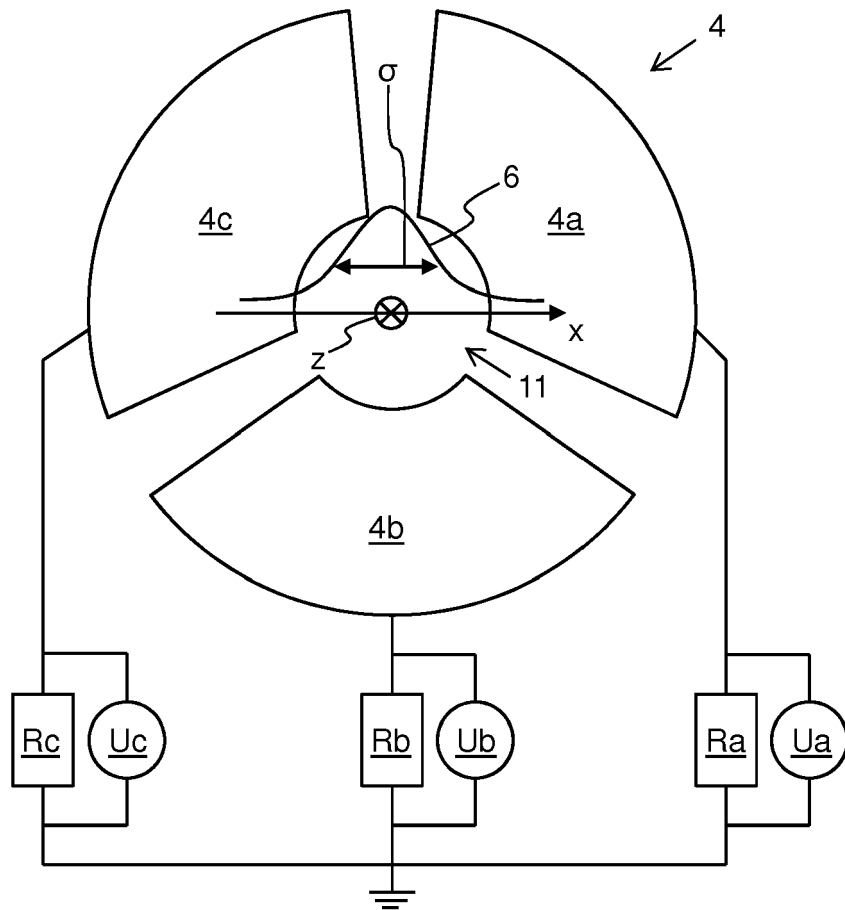


Fig. 2

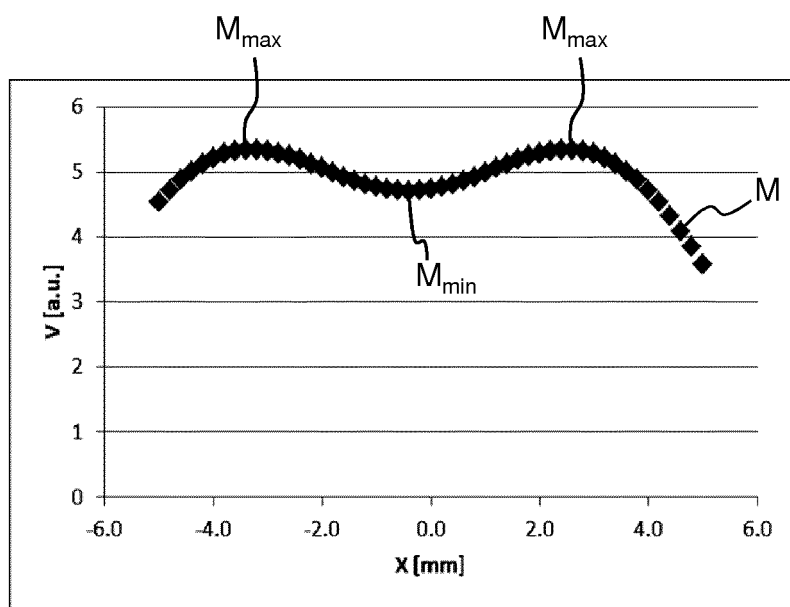


Fig. 3

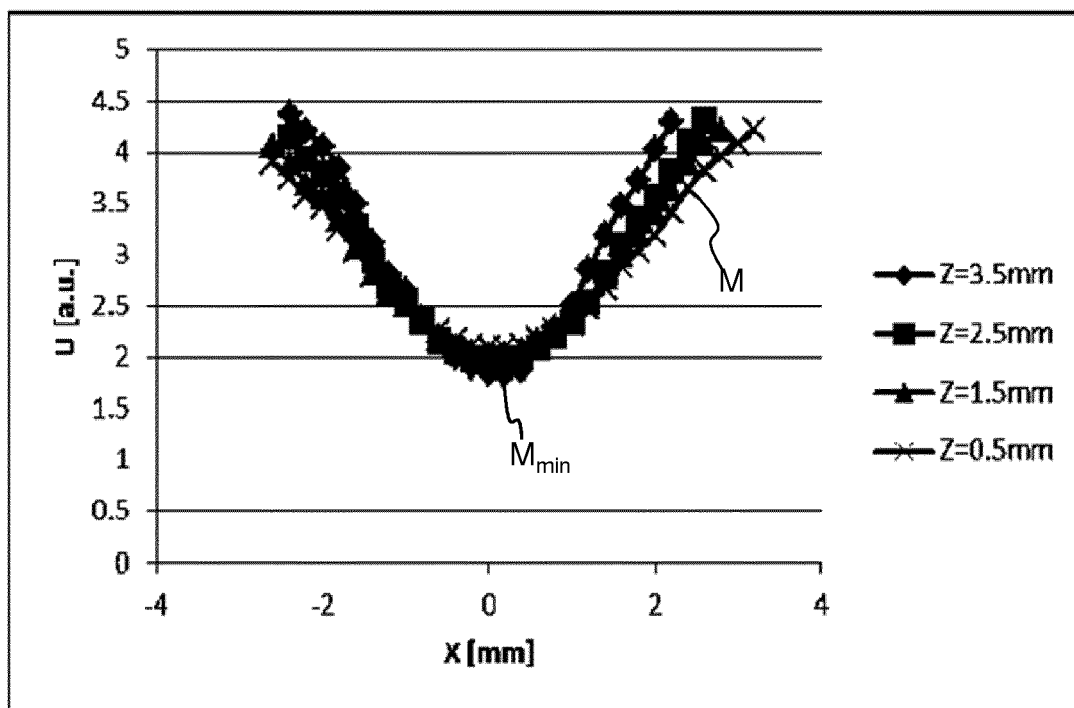


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 18 17 0484

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2015/235827 A1 (BAZARGAN SAMAD [CA] ET AL) 20. August 2015 (2015-08-20) * Absatz [0022] - Absatz [0026] * -----	1-10	INV. H01J49/02
X	US 6 674 068 B1 (KAMMEI YOSHIHIRO [JP]) 6. Januar 2004 (2004-01-06) * Ansprüche 1,9; Abbildung 3 * -----	1-7,10, 11	
X	US 2007/045247 A1 (MARRIOTT PHILIP [GB] ET AL) 1. März 2007 (2007-03-01) * Ansprüche 1,8-11,14,15,22 * -----	1-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H01J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 11. September 2018	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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 18 17 0484

5 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.

11-09-2018

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2015235827 A1	20-08-2015	AU 2015218336 A1	08-09-2016
		CA 2938675 A1	20-08-2015
		CN 106463329 A	22-02-2017
		EP 3105775 A1	21-12-2016
		JP 2017512305 A	18-05-2017
		US 2015235827 A1	20-08-2015
		WO 2015123555 A1	20-08-2015

US 6674068 B1	06-01-2004	JP 3665823 B2	29-06-2005
		JP 2001015061 A	19-01-2001
		US 6674068 B1	06-01-2004

US 2007045247 A1	01-03-2007	AU 2006201971 A1	01-03-2007
		CA 2548688 A1	10-02-2007
		CN 1913093 A	14-02-2007
		DE 102006036674 A1	15-02-2007
		GB 2418293 A	22-03-2006
		JP 4990567 B2	01-08-2012
		JP 2007048742 A	22-02-2007
		US 2007045247 A1	01-03-2007

EPO FORM P0461

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