

Bezeichnung

Mikropumpe mit Kapillarstruktur und Anwendung

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Mikropumpe zum Austausch von Flüssigkeit zwischen einem Vorratsbereich und einem Arbeitsbereich mittels einer Kapillarstruktur, wobei sich oberhalb des Arbeitsbereichs ein abgeschlossener Gasbereich befindet, und auf eine Anwendung der Mikropumpe.

In zahlreichen technischen Anwendungen ist es notwendig, kleinste Mengen von Flüssigkeiten zu transportieren. Hier gilt es, auftretende Oberflächenspannungen zu überwinden und Kapillarkräfte zu nutzen.

Stand der Technik

Der der Erfindung nächstliegende Stand der Technik ist aus der **DE 198 60 227 C1** bekannt. Beschrieben wird eine Mikropumpe für ein miniaturisiertes Gaserzeugungssystem in der Brennstoffzellentechnik. Kleinste Mengen von Wasser und Kohlenwasserstoff müssen einem Umwandlungsprozess in einem Arbeitsbereich zur Erzeugung von Wasserstoff zugeführt werden. Die zu fördernde Flüssigkeit ist in einem abgeschlossenen Vorratsbereich gespeichert. Über eine Kapillarstruktur in Form eines Hohlfaserbündels wird die Flüssigkeit aus

dem Vorratsbereich in den Arbeitsbereich transportiert und dort weiterverarbeitet. Der Flüssigkeitsaustausch nutzt über die Kapillarwirkung auftretende Diffusionskräfte bzw. den Diffusionsdruck der Moleküle in der Flüssigkeit. Von außen wird der Mikropumpe kein Druck oberhalb des Umgebungsdrucks aufgeprägt. Im Prozess entsteht ein Gas in einem abgeschlossenen Gasbereich oberhalb der Flüssigkeit im Arbeitsbereich. Das Gas wird über einen Auslass aus dem Arbeitsbereich entlassen. Die Flüssigkeit wird nicht durch den abgeschlossenen Gasbereich hindurch transportiert.

Aus der **EP 1 835 275 A2** ist eine pipettenartige Mikropumpe zur Extraktion einer Flüssigkeit aus einer anderen Flüssigkeit bekannt, die mittels einer Kapillarstruktur über eine offene Pipettenspitze aus verschiedenen Vorratsbereichen unterschiedliche Flüssigkeiten ansaugen kann. Das Ansaugen erfolgt zeitlich nacheinander, sodass die zuerst angesaugte Flüssigkeit mit der danach angesaugten Flüssigkeit behandelt werden kann. Oberhalb des Vorratsbereiches, der nicht teil der Mikropumpe ist, befindet sich ein offener Gasbereich in Form der Umgebungsluft. Durch diese muss die Flüssigkeit aber wiederum nicht hindurchtransportiert werden. Gleiches gilt für die aus der **DE 199 33 838 A1** bekannte Nadel zum Transfer von Liquiden zwischen einem Vorratsbereich und einem Arbeitsbereich, die in ihrem Spitzenbereich Kapillarstrukturen aufweist. Diese können Flüssigkeit mittels Kapillarkräften ansaugen, wenn die Nadelspitze in einen Vorratsbereich getaucht wird, und festhalten, bis die Flüssigkeit an einem anderen Ort wieder abgegeben werden soll. Ein offener Gasbereich wird wiederum durch die Umgebungsluft gebildet.

Weiterhin ist aus der **DE 197 11 270 A1**, Figur 1 eine mit einem Schwingungs- oder Schallgeber betriebene Mikropumpe für fluide Medien bekannt, deren Pumpkammer aus dem Innenraum einer Kapillare besteht.

Aufgabenstellung

Ausgehend von der gattungsgemäßen Mikropumpe gemäß dem weiter oben beschriebenen nächstliegenden Stand der Technik ist die **Aufgabe** für die vorliegende Erfindung darin zu sehen, diese so weiterzubilden, dass die Flüssigkeit auch durch den abgeschlossenen Gasbereich hindurchtransportiert werden kann. Dabei soll die Lösung einfach und kostengünstig sein. Die **Lösung** für diese Aufgabe ist dem Hauptanspruch zu entnehmen. Vorteilhafte Modifikationen der Erfindung werden in den Unteransprüchen aufgezeigt und im Folgenden zusammen mit der Erfindung und einer bevorzugten Anwendung näher erläutert.

Erfindungsgemäß ist eine Kapillarpipette mit einer an ihrem unteren Ende verschlossenen Pipettenspitze und einem dieser gegenüberliegenden offenen Pipetteneinlass vorgesehen, bei der der Arbeitsbereich von einem Pipettenabschnitt oberhalb der verschlossenen Pipettenspitze umschlossen und der offene Pipetteneinlass von einem flüssigkeitsdurchlässigen Filter bedeckt ist, wobei der Filter an den Vorratsbereich angeschlossen ist. Weiterhin ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Kapillarstruktur zwischen der verschlossenen Pipettenspitze und dem Filter durch den Gasbereich hindurch erstreckt ist.

Bei der mit der Erfindung beanspruchten Mikropumpe handelt es sich im Wesentlichen um eine in besonderer Weise modifizierte Kapillarpipette. Eine herkömmliche Kapillarpipette wird in kommerziell erhältlicher, unmodifizierter Form auch „Pasteur-Pipette“ genannt. Sie weist eine offene Pipettenspitze am Ende einer Kapillare auf, sodass auch kleinste Flüssigkeitsvolumina ausgetropft werden können. Am anderen Ende der Kapillare befindet sich ein offener Pipetteneinlass zum Einlass von Flüssigkeit in die Pipette. Bei der erfindungsgemäßen Mikropumpe ist die Pipettenspitze verschlossen, sodass darüber im Inneren der Kapillare ein sehr kleines Flüssigkeitsvolumen angesammelt werden kann, das nicht nach unten ausgetropft werden kann. Ein oberhalb der verschlossenen Pipettenspitze liegender Pipettenabschnitt umschließt den Arbeitsbereich

der beanspruchten Mikropumpe, in dem die gespeicherte Flüssigkeit untersucht oder bearbeitet werden kann. Oberhalb des Arbeitsbereichs in der modifizierten Kapillarpipette befindet sich der abgeschlossene Gasbereich. Die Flüssigkeit im Arbeitsbereich hat keinen direkten Kontakt mit der Flüssigkeit im Vorratsbereich, sondern ist durch den Gasbereich von diesem getrennt. Der Arbeitsbereich der erfindungsgemäßen Mikropumpe ist auf seiner einen Seite durch die verschlossene Pipettenspitze, auf seiner anderen Seite durch den Gasbereich begrenzt und in seinem geringen Volumen konstant definiert. Bei der auszutauschenden Flüssigkeit handelt es sich in der Regel um Wasser oder um eine wässrige Flüssigkeit. Aber auch alle anderen Flüssigkeiten, die der Wirkung von Kapillarkräften unterliegen und dabei einen Diffusionsdruck aufbauen, beispielsweise flüssiger Wasserstoff, können mit der Mikropumpe nach der Erfindung zuverlässig in kleinsten Mengen transportiert werden.

Weiterhin weist die modifizierte Kapillarpipette der erfindungsgemäßen Mikropumpe an ihrem der Pipettenspitze gegenüberliegenden Ende einen offenen Pipetteneinlass auf, der der Zufuhr von Flüssigkeit in das Pipetteninnere dient. Der offene Pipetteneinlass wird erfindungsgemäß von einem flüssigkeitsdurchlässigen Filter abgedeckt. Der Filter bildet die Schnittstelle zwischen der Flüssigkeit im Vorratsbereich und dem Gas im Gasbereich im Pipetteninneren. Der Gasbereich bildet eine Barriere für die Flüssigkeit im Vorratsbereich und lässt diese nicht ohne weiteres in das Pipetteninnere eintreten. Zur Überbrückung der Gasbarriere ist bei der Erfindung deshalb vorgesehen, dass die Kapillarstruktur zwischen der verschlossenen Pipettenspitze und dem Filter am offenen Pipetteneinlass erstreckt ist. Dadurch wird der Arbeitsbereich mit dem Vorratsbereich durch den blockierenden Gasbereich hindurch fluidisch verbunden. Ein kontinuierlicher Flüssigkeitsaustausch zwischen beiden Bereichen wird durch die Kapillarwirkung der vorgesehenen Kapillarstruktur ermöglicht und dauerhaft gewährleistet. Dabei wird ein sehr kleines Volumen im Arbeitsbereich kontinuierlich ausgetauscht und konstant gehalten. Ohne den erfindungsgemäßen kapillaren Austausch würde die Flüssigkeit durch den abschließenden Gasbereich und durch die rückhaltenden Kapillarkräfte im Arbeitsbereich verbleiben

und sich nicht mit der Flüssigkeit im Vorratsbereich austauschen. Untersuchungen von sich verändernder Flüssigkeit aus dem Vorratsbereich im Arbeitsbereich wären nicht möglich.

Die mit der Erfindung beanspruchte Mikropumpe ist besonders einfach aus wenigen, einfachen konstruktiven Elementen aufgebaut und benötigt keine externe Energieversorgung, insbesondere auch keine externe Druckversorgung. Dadurch ist sie auch besonders kostengünstig. Der Preis für die einzelnen Komponenten liegt im einstelligen Eurobereich. Die Herstellung ist ebenfalls einfach und kostengünstig. Kommerziell erhältliche Komponenten können einfach angepasst werden. Neben diesen evidenten Vorteilen liegt noch ein weiterer Vorteil in der Erzielung eines besonders kleinen, konstanten Arbeitsbereichs im Kapillarabschnitt. Sollen beispielsweise kleinste Partikel oder Organismen untersucht werden, müssen sich diese in dem kleinen Volumen anreichern und damit verdichten. Eine bessere Beobachtbarkeit als bei einer räumlich verteilten Anordnung ist möglich. Deshalb ist es gemäß einer ersten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Mikropumpe bevorzugt und vorteilhaft, wenn der Arbeitsbereich ein Volumen in einem Bereich von einem Viertel bis einem Drittel des Volumens der Kapillarpipette aufweist. Kommerziell erhältliche Kapillarpipetten verfügen über Kapillaren mit einer Länge zwischen 45 mm und 120 mm und können ein Volumen von 1 ml bis 10 ml aufweisen. Dabei kann die Länge der Kapillarpipette auch gekürzt werden. Bei der Erfindung kann der Arbeitsbereich bevorzugt und vorteilhaft ein Volumen in einem Bereich von 0,4 ml bis 0,5 ml aufweisen, beispielsweise 400 µl bis 500 µl. Hierbei handelt es sich um ein extrem kleines Volumen, dessen enthaltene Flüssigkeit ohne die Maßnahmen der Erfindung ohne Aufbringen eines externen Drucks nicht mit der Umgebung in Austausch treten würde. Die rückhaltenden Kräfte würden dies verhindern. Diese werden bei der Erfindung durch Nutzung von flüssigkeitsimmanenten Kapillar- und Diffusionskräften mit hoher Effektivität überwunden.

Weiter oben wurde bereits erwähnt, dass gut Beobachtungen an der Flüssigkeit im Arbeitsbereich durchgeführt werden können, weil hier in dem kleinsten Volumen vorhandene Partikel oder Organismen angereichert sind. Deshalb ist es gemäß einer nächsten Erfindungsausgestaltung bevorzugt und vorteilhaft, wenn zumindest der Kapillarabschnitt, der den Arbeitsbereich umschließt, transparent ausgebildet ist. Kommerziell erhältliche Kapillarpipetten bestehen in der Regel aus Glas oder opakem oder transparentem Kunststoff. Insbesondere Glaspipetten (beispielsweise aus Quarzglas) sind bei der Erfindung besonders gut zu verwenden, weil sie hochtransparent sind und sich ihre offene Pipettenspitze durch Aufschmelzen oder Verkleben leicht verschließen lässt. Kunststoffpipetten können ebenfalls eingesetzt werden, wenn sie lichtdurchlässig sind. Weiterhin können die Kapillaren von herkömmlichen Kapillarpipetten zylindrisch mit konstantem Durchmesser (Kolben) oder konisch zulaufend mit – zur Pipettenspitze hin - abnehmendem Durchmesser ausgebildet sein. Bei der Erfindung ist es bevorzugt und vorteilhaft, wenn der Pipettenabschnitt in Richtung Pipettenspitze konisch zulaufend und die Pipettenspitze zylindrisch ausgebildet ist. Es können dann kommerziell erhältliche Kapillarpipetten modifiziert werden.

Kapillarkräfte treten an allen glatten festen Oberflächen auf. Besonders stark treten sie an dichten Kunststoffoberflächen und Glasoberflächen auf. Daher ist es gemäß einer nächsten Erfindungsausgestaltung vorteilhaft und bevorzugt, wenn die Kapillarstruktur aus Glas, besteht. Weiterhin kann gemäß einer nächsten vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bevorzugt vorgesehen sein, dass die Kapillarstruktur von einem Stäbchen oder einem Röhrchen gebildet ist. Derartige Kapillarstrukturen sind ebenfalls einfach kommerziell erhältlich, insbesondere aus Glas, und sind besonders preiswert. Es können auch Stäbchen oder Röhrchen aus Kunststoff oder einem anderen Feststoff eingesetzt werden. Hierbei ist aber zu gewährleisten, dass ausreichend große Kapillarkräfte für den Flüssigkeitsaustausch auftreten. Glasfäden und Glasstäbchen bestehen aus Vollglas, sodass der Kapillareffekt auf ihrer Oberfläche auftritt. Glasfäden haben einen geringeren Durchmesser als Glasstäbchen. Bei diesen

kann der Durchmesser beispielsweise bei 1,5 mm oder darunter liegen. Glasröhrchen bestehen aus Hohlglas. Der Kapillareffekt tritt vor allem auf der Innenseite der Glasröhrchen auf. Die äußere und ggfs. innere Oberfläche von derartigen Kapillarstrukturen ist aber in jedem Falle ausreichend groß, sodass die zu transportierende Flüssigkeit in beiden Richtungen aufgrund der Kapillarwirkung wandern kann (in den Arbeitsbereich hinein und aus diesem heraus). Es findet also ein bidirektionaler Flüssigkeitsaustausch zwischen Arbeitsbereich und Vorratsbereich statt. Dabei verändert sich das Volumen im Arbeitsbereich bzw. Kapillarabschnitt nicht, sondern bleibt konstant. Vorteilhaft besteht das Glasstäbchen oder Glasröhrchen aus demselben Glaswerkstoff wie die gewählte Pipette.

Ein zylindrischer Verlauf der Pipettenspitze bietet den Vorteil, dass ein eingestecktes Stäbchen oder Röhrchen axial zentriert wird. Deshalb kann bei einer weiteren Erfindungsmodifikation bevorzugt und vorteilhaft vorgesehen sein, dass das Stäbchen oder das Röhrchen, insbesondere ein Glasstäbchen (oder Glasfaden) oder ein Glasröhrchen, auch in der Pipettenspitze verläuft und durch diese axial in der Kapillarpipette zentriert ist. Das Stäbchen oder Röhrchen weist dabei einen solchen Durchmesser auf, dass es einerseits in der Pipettenspitze gut geführt ist, andererseits im konischen Pipettenabschnitt aber noch ein solcher Ringspalt verbleibt, dass sich das kleine Flüssigkeitsvolumen gut sammeln kann. Die zu untersuchenden Partikel oder Organismen können sich dann gut in dem Ringspalt anreichern und dargestellt werden. Durch das Einstecken des Stäbchens oder Röhrchens bis in die Pipettenspitze ist sicher gewährleistet, dass der gesamte Arbeitsbereich von der Kapillarstruktur durchdrungen ist und dem kontinuierlichen Flüssigkeitsaustausch mit dem Vorratsbereich unterliegt. Durch die axiale Zentrierung wird ein Anliegen des Stäbchens oder Röhrchens innen an der Wandung des Kapillarabschnitts vermieden. Dadurch steht die vollständige äußere Oberfläche des Stäbchens oder Röhrchens für den Flüssigkeitstransport in beiden Richtungen zur Verfügung. Grundsätzlich sind die wirkenden Kapillarkräfte aber so stark, dass es gemäß

einer nächsten Erfindungsausgestaltung möglich ist, die Kapillarpipette in beliebiger Ausrichtung anzuordnen. Sie bzw. die gesamte Mikropumpe kann sowohl vertikal als auch horizontal als auch schräg angeordnet werden. Der kapillargetriebene Flüssigkeitsaustausch zwischen Arbeits- und Vorratsbereich findet in jeder Ausrichtung der Mikropumpe zuverlässig statt.

Die beliebige Ausrichtbarkeit der mit der Erfindung beanspruchten Mikropumpe ist von Vorteil in Bezug auf die Ausbildung des Vorratsbereichs. Dieser kann konstruktiver Teil der Mikropumpe sein und direkt an den Pipetteneinlass angeschlossen sein, beispielsweise in Form eines kleinen Gefäßes (abgeschlossen oder mit Durchflussanschluss) oder elastischen Ballons. Dann wird die Mikropumpe in der Regel vertikal angeordnet sein. Der Vorratsbereich kann gemäß einer weiteren Erfindungsausgestaltung bevorzugt und vorteilhaft aber auch durch einen Bereich eines offenen Gewässers, beispielsweise ein See oder eine Meeresbucht, gebildet sein, auch dann schließt er direkt an den Pipetteneinlass an. Vorteilhaft und bevorzugt ist die Kapillarpipette dann vollständig in den Vorratsbereich eingetaucht. Die Mikropumpe kann dabei direkt oder in einem wasserdurchlässigen Gehäuse oder Käfig in das Gewässer hineingegeben werden, sodass der Vorratsbereich (der Bereich des Gewässers, der insbesondere an den Pipetteneinlass anschließt) die Mikropumpe vollständig umgibt. Es wird sich in der Regel eine horizontale Anordnung der Mikropumpe durch Aufliegen auf einem Gewässer- oder Käfigboden ergeben. Um die Flüssigkeitszirkulation am Pipetteneinlass nicht zu behindern, kann auch eine schräge Anordnung gewählt werden, bei der die Mikropumpe an einen Gegenstand angestellt wird, wobei der Pipetteneinlass dann nach oben zeigt.

Bei einem vollständigen Eintauchen der Mikropumpe in den Vorratsbereich kann die Zusammensetzung der darin befindlichen Flüssigkeit bekannt oder unbekannt sein. Oftmals handelt es sich um natürliches Wasser unbekannter Zusammensetzung, das eine Vielzahl von kleinsten Partikeln und Organismen aufweist. Diese sind aber in der Regel nicht Gegenstand von Untersuchungen und sollen daher nicht in das Innere der Mikropumpe gelangen. Deshalb ist bei

einer nächsten Modifikation der Erfindung bevorzugt und vorteilhaft vorgesehen, dass der Filter eine an im Vorratsbereich zurückzuhaltende kleinste Partikel und Organismen angepasste Maschenweite aufweist. Der Filter ist am Pipetteneinlass angeordnet und flüssigkeitsdurchlässig. Der Filter hält unerwünschte Fremdstoffe mit einer Größe oberhalb der Maschenweite des Filters zurück und lässt aufgrund der wirkenden Kapillarkräfte trotzdem das Wasser an der angrenzenden Kapillarstruktur entlang in den Arbeitsbereich vordringen. Da die beanspruchte Mikropumpe ohne externe Druckbeaufschlagung arbeitet, können aber nur solche kleinsten Maschenweiten eingesetzt werden, die den Flüssigkeitstransport durch Diffusionsdruck nicht behindern. Die Kapillarstruktur, bevorzugt ein Glasstäbchen oder ein Glasröhrchen, erstreckt sich bis zum Filtermaterial und berührt es. Das erfolgt besonders zuverlässig, wenn die Kapillarstruktur etwas, also ungefähr 1 mm bis 3 mm, über das Ende der Kapillarpipette am Pipetteneinlass hinausragt. Der Filter kann dann im Bereich der Kapillarstruktur etwas auswölben, wenn er flexibel ausgestaltet ist. Deshalb ist es bei der Erfindung vorteilhaft und bevorzugt, wenn der Filter als flexible Gaze ausgebildet ist. Für den rein diffusionsgetriebenen Flüssigkeitsaustausch wird eine Maschenweite der Gaze von 50 µm besonders bevorzugt. Bei dieser Maschenweite können unerwünschte Fremdkörper ferngehalten werden, zu detektierende oder ernährende Stoffe können aber mit der Flüssigkeit in das Pipetteninnere gelangen. Die flexible Gaze lässt sich einfach vor dem Pipetteneinlass der Kapillarpipette dauerhaft anordnen, wenn gemäß einer nächsten Erfindungsweiterbildung bevorzugt und vorteilhaft vorgesehen ist, dass die Gaze mittels eines elastischen Dichtrings, der über den Pipetteneinlass gestreift ist, befestigt ist. Die Gaze wird dann einfach über den offenen Pipetteneinlass gelegt und durch Überstreifen des elastischen Dichtrings, beispielsweise aus flexiblem Gummi, fixiert. Partikel, die größer als die gewählte Maschenweite der Gaze sind, werden zuverlässig im Vorratsbereich zurückgehalten.

Die mit der Erfindung beanspruchte Mikropumpe einschließlich der zuvor beschriebenen vorteilhaften Modifikationen kann – bei Verwendung eines transparenten Pipettenabschnitts – besonders vorteilhaft in einer Messapparatur für

Fluoreszenzmessungen eingesetzt werden. Im Arbeitsbereich der Mikropumpe können Substanzen oder lebende Organismen in der Flüssigkeit auf kleinstem Raum angereichert und hinsichtlich ihrer Fluoreszenzeigenschaften (angeregte und eigenständige Fluoreszenz) untersucht werden. Die Signalstärke ist aufgrund der hohen Konzentration der zu untersuchenden Substanz im Arbeitsbereich ausreichend groß. Sie ist bedeutsam größer als bei einer weiträumigen Verteilung der zu detektierenden Partikel oder Organismen in einem größeren Arbeitsbereich. Bevorzugt und vorteilhaft können dabei die Fluoreszenzmessungen an lebenden marinen Organismen, die im mit Flüssigkeit aus dem Vorratsbereich gefüllten Arbeitsbereich angereichert sind, durchgeführt werden. Dabei ist es wiederum bevorzugt und vorteilhaft, wenn der Vorratsbereich durch einen Bereich eines offenen Gewässers gebildet und die Kapillarpipette vollständig in den Vorratsbereich eingetaucht ist. Es können alle lebenden marinen Organismen eingesetzt werden, die über eigenständige oder anregbare fluoreszierende Eigenschaften verfügen, beispielsweise auch Algen. Bevorzugt und vorteilhaft können auch marine Plattwürmer verwendet werden, die bei einer Kontamination mit Schadstoffen aus der Flüssigkeit aus dem Vorratsbereich eine deutlich erhöhte Autofluoreszenz zeigen, siehe hierzu auch das Patent gemäß **DE 10 2014 012 130 B3** des vorliegenden Anmelders, dass sich mit der in-situ-Detektion von Toxinen in Gewässern durch genveränderte Organismen beschäftigt. Nähere Details hierzu und zu den oben beschriebenen Modifikationen der Erfindung sind den nachfolgenden Ausführungsbeispielen zu entnehmen.

Ausführungsbeispiele

Die Mikropumpe nach der Erfindung und ihre vorteilhaften Modifikationen und Anwendungen werden anhand der schematischen, nicht maßstäblichen **Figuren** zum besseren Verständnis nachfolgend noch weitergehend erläutert. Im Einzelnen zeigt die

- Figur 1** eine Mikropumpe im schematischen Querschnitt mit einem konstruktiv abgegrenzten Vorratsbereich und
- Figur 2** eine Mikropumpe im schematischen Querschnitt mit einem Vorratsbereich als Teil eines offenen Gewässers.

In der **Figur 1** ist eine Mikropumpe **01** zum Flüssigkeitsaustausch zwischen einem Vorratsbereich **02** und einem Arbeitsbereich **03** dargestellt. Die Mikropumpe **01** umfasst eine modifizierte Kapillarpipette **04**, die bevorzugt aus Glas besteht. Die Kapillarpipette **04** weist eine an ihrem unteren Ende **05** verschlossene Pipettenspitze **06** und einen dieser gegenüberliegenden offenen Pipetteneinlass **07** auf. Der Arbeitsbereich **03** ist von einem Pipettenabschnitt **08** umschlossen, der oberhalb der verschlossenen Pipettenspitze **06** angeordnet ist. Oberhalb des Arbeitsbereichs **03** befindet sich ein abgeschlossener Gasbereich **09**. Der Pipetteneinlass **07** ist von einem flüssigkeitsdurchlässigen Filter **10** bedeckt. Der Filter **10** schließt unmittelbar an den Vorratsbereich **02** an. In der **Figur 1** wird der Vorratsbereich **02** von einem Ballon **11** begrenzt. Dieser verfügt über Anschlüsse **12**, um eine Flüssigkeit **13** (in der Regel Wasser oder eine wässrige Flüssigkeit) durchlaufen zu lassen. Die bevorzugte Ausführungsform der mit der Erfindung beanspruchten Mikropumpe **01** ist der **Figur 2** zu entnehmen. Dort nicht erläuterte Bezugszeichen sind der **Figur 1** zu entnehmen.

Die **Figur 2** zeigt eine Ausführungsform der Mikropumpe **01**, bei der der Vorratsbereich **02** durch einen Bereich **14** eines offenen Gewässers **15** gebildet ist. Somit befindet sich die Flüssigkeit **13** aus dem offenen Gewässer **15** auch in dem Vorratsbereich **02** der Mikropumpe **01**. Die Kapillarpipette **04** ist vollständig in den Vorratsbereich **02** eingetaucht. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Kapillarpipette **04** vertikal ausgerichtet. Eine horizontale oder schräge Ausrichtung ist auch möglich. In dem Arbeitsbereich **03** befindet sich ebenfalls die Flüssigkeit **13**. Diese stammt aus dem Vorratsbereich **02** bzw. dem Bereich **14** und damit aus dem offenen Gewässer **15**. Oberhalb des Arbeitsbereichs **03** befindet sich der abgeschlossene Gasbereich **08**, der mit Luft

16 gefüllt ist. Um einen kontinuierlichen Flüssigkeitsaustausch zwischen dem Bereich **14** (Vorratsbereich **02**) und dem Arbeitsbereich **03** durch den Gasbereich **08** hindurch zu bewerkstelligen, sind beide durch eine Kapillarstruktur **17** miteinander verbunden. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird diese von einem Stäbchen **18** gebildet, das aus Vollglas besteht. Der Einsatz eines hohlen Röhrchens, bevorzugt ebenfalls aus Glas, ist ebenfalls möglich.

In **Figur 2** ist der Bereich **14** (Vorratsbereich **02**) Teil eines Gewässers **15**, in dem sich auch für den Wasseraustausch durch die Mikropumpe **01** unerwünschte kleinste Partikel und Organismen befinden **19** können. Um deren Eindringen in das Innere der Kapillarpipette **04** zu verhindern, ist über den offenen Pipetteneinlass **07** der Filter **10** gelegt, der die kleinsten Partikel und Organismen **19** im Bereich **14** zurückhält. Der Filter **10** ist im gezeigten Ausführungsbeispiel als Gaze **20** ausgebildet. Diese ist biegsam und ist mittels eines übergestreiften elastischen Dichtrings **21** (Gummiring) sicher am Pipetteneinlass **07** befestigt. Damit der Flüssigkeitsaustausch aufgrund von Kapillarkräften sicher durch den Filter **10** hindurch erfolgen kann, ragt die Kapillarstruktur **17** (hier das Stäbchen **18**) ein Stückchen über den Pipetteneinlass **07** hinaus (in der **Figur 2** nicht maßstäblich und eher übertrieben dargestellt). Dadurch wird die Gaze **20** etwas nach außen ausgewölbt. Das obere Ende **22** des Stäbchens **18** wird gegen die Gaze **20** gedrückt. Die Flüssigkeit **13** gelangt durch die Maschen der Gaze **20** hindurch in Kontakt mit dem Stäbchen **18** und kriecht daran entlang in den Arbeitsbereich **03**. In umgekehrter Richtung gelangt Flüssigkeit **13** aus dem Arbeitsbereich **03** in den Bereich **14** (Vorratsbereich **02**). Der kontinuierliche Flüssigkeitsaustausch bei konstant großem Arbeitsbereich **02** durch den Gasbereich **08** und den Filter **10** hindurch ist sicher gewährleistet.

Im Nachfolgenden soll Einiges zu den möglichen Abmessungen der Mikropumpe **01** ausgeführt werden, wobei hierdurch nur exemplarisch die Größenverhältnisse dargestellt werden sollen. Andere Abmessungen sind ohne weite-

res realisierbar, die genannten Abmessungen sind als Ungefährwerte anzusehen. Im gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Kapillarpipette **04** aus Glas eine Gesamtlänge von 75 mm auf. Die Pipettenspitze **06** ist zylindrisch ausgeprägt und 25 mm lang. Der Pipettenabschnitt **09**, der den Arbeitsbereich **03** umgibt, ist in Richtung Pipettenspitze **06** konisch zulaufend ausgebildet und 15 mm lang. Der Gasbereich **08** oberhalb des Arbeitsbereichs **03** ist entsprechend 35 mm lang. Die Kapillarpipette **04** weist ein Gesamtvolumen von 1,3 ml (Gesamtvolumen 1, 2 ml bis 1,5 ml) auf, der Arbeitsbereich **03** umfasst davon ungefähr ein Viertel. Im gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst der Arbeitsbereich **03** 400 µl (0,4 ml, Arbeitsbereich **03** 0,3 ml bis 0,5 ml). Die Pipettenspitze **06** hat einen Innendurchmesser von 2 mm. Die verschlossene Halbrundung der Pipettenspitze **06** hat einen Innenradius von 1 mm. Das Stäbchen **18** hat eine Länge von 76 mm und eine Dicke von 1,5 mm, die Enden sind mit einem Radius von 0,75 mm halbgerundet. Beim Einstecken des Stäbchens **18** ist dieses also in der Pipettenspitze **06** axial geführt. Es verbleibt ein konzentrischer Ringspalt um das eingesteckte Stäbchen **18**. Dieser reicht aus für eine einfache Einführbarkeit des Stäbchens **18** in die Pipettenspitze **06** aus. Es ergibt sich aber kein Arbeitsbereich **03** in dem Ringspalt in der Pipettenspitze **06**. Der Arbeitsbereich **03** beginnt oberhalb der Pipettenspitze **06** und ist von dem konischen Pipettenabschnitt **09** umschlossen. Das eingesteckte Stäbchen **18** reicht bis zum verschlossenen Ende **05** der Pipettenspitze **06**. Da es etwas länger bemessen ist als die Kapillarpipette **04**, ragt es am Pipetteneinlass **07** ungefähr 1 mm heraus. Dieser Überstand ist ausreichend für einen guten Kontakt mit der Gaze **20** und damit mit der in den Maschen anstehenden Flüssigkeit **13**. Die Gaze **20** weist bevorzugt eine Maschenweite von 50 µm auf, die sich für den Flüssigkeitsaustausch als optimal, da nichtbehindernd herausgestellt hat. Der Pipetteneinlass **07** hat einen inneren Durchmesser von 6 mm. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die gesamte Kapillarpipette **04** transparent ausgebildet. Insbesondere ist der Pipettenabschnitt **09** transparent ausgebildet. Somit ist der Arbeitsbereich **03** von außen einsehbar und durchstrahlbar. Damit ist die Mikropumpe **01** besonders gut in einer Messapparatur für Fluoreszenzmessun-

gen einsetzbar. Im Nachfolgenden soll noch kurz das Vorgehen bei der Modifizierung der Kapillarpipette **04** und beim Einsatz der Mikropumpe **01** für Fluoreszenzmessungen mit lebenden Organismen beschrieben werden.

Die modifizierte Kapillarpipette **04** der Mikropumpe **01** kann als Behältnis für die Haltung mariner Plattwürmer **23** (*Macrostomum lignano*) über mindestens 10 Tage auf geringem Volumen dienen, in denen regelmäßig Fluoreszenz-Messungen durchgeführt werden. Das geringe Volumen ist notwendig, damit während der Bestrahlung der Plattwürmer **23** mit einer entsprechenden Anregungswellenlänge gezielt das gebündelte, emittierte Fluoreszenz-Signal gemessen werden kann. Die Mikropumpe **01** wird dafür vertikal in eine entsprechend konstruierte Messapparatur integriert. Die Messung erfolgt zunächst über Wasser (Testmessungen). Anschließend werden in-situ Messungen unter Wasser durchgeführt, um mögliche Schadstoffe in (Meer-)Wasser über die gemessenen Fluoreszenz-Signale der Plattwürmer **23** zu detektieren. Die Kapillarpipette **04** mit Stäbchen **18** als wasserfördernde Kapillarstruktur **17** erweist sich als optimales Hälterungs- und Messbehältnis für Fluoreszenz-Messungen mit den Plattwürmern **23**. Die beanspruchte Mikropumpe **01** zeigt dafür eine hohe Effektivität. Mit sehr kostengünstigen Mitteln wird ein effizienter, unkomplizierter Wasseraustausch innerhalb weniger Stunden realisiert. Die Plattwürmer **23** werden dabei in keiner Weise negativ beeinflusst, ebenso werden die Fluoreszenz-Messungen nicht gestört.

Bei der Herstellung der modifizierten Kapillarpipette **04** wird eine herkömmliche Pasteur-Pipette aus Glas von oben und unten gekürzt, das untere Ende **05** der Pipettenspitze **06** zugeschmolzen und die Kapillarpipette **04** gründlich mit Ethanol und Leitungswasser ausgespült. Anschließend wird die Kapillarstruktur **17** (Stäbchen **18**, aus demselben Material wie die Kapillarpipette **04**) senkrecht in die Pipettenspitze **06** eingeführt, so dass das untere Ende des Stäbchens **18** in auf dem verschlossenen unteren Ende **05** der Pipettenspitze **06** aufliegt. Dies reicht aus, dass das obere Ende des Stäbchens **18** etwas aus dem Pipetten-

einlass **07** herausragt. Plattwürmer **23** und Flüssigkeit **13** werden mit einer Eppendorf-Pipette in die Kapillarpipette **04** überführt, die Flüssigkeit **13** im Arbeitsbereich **03** auf das gewünschte Volumen korrigiert, sodass ein luftgefüllter Gasbereich **08** zwischen dem Arbeitsbereich **03** und dem Vorratsbereich **02** entsteht, der aber von dem Stäbchen **18** durchdrungen wird. Abschließend wird Kapillarpipette **04** mit einer Gaze **20** und einem Gummidichtungsring **21** verschlossen und im Bereich **14** des Gewässers **15** platziert. Dabei wird über das Stäbchen **18** Flüssigkeit **13** zwischen dem Vorratsbereich **02** und dem Arbeitsbereich **03** ausgetauscht, ohne dass die Kapillarpipette **04** vollläuft oder an Volumen bzw. Plattwürmern **23** verliert.

Die mit der Erfindung beanspruchte Mikropumpe **01** wurde bereits für Fluoreszenz-Messungen mariner Plattwürmer **23** unter Laborbedingungen erfolgreich angewendet. Der Flüssigkeitsaustausch über das Stäbchen **18** wurde durch Vorversuche in einem kleinen Aquarium nachgewiesen. Die Kapillarpipette **04** wurde zur Hälfte mit einer ungefärbten Flüssigkeit **13** (Wasser, Medium, Umgebungswasser) gefüllt, mit dem Stäbchen **18** versehen, mit der Gaze **20** verschlossen und für insgesamt 20,5 h in das mit gefärbter Flüssigkeit **13** im Vorratsbereich **14** des gefüllten Aquariums (Gewässer **15**) horizontal hineingelegt. Während dieser Zeit erfolgten in regelmäßigen Zeitabständen Absorptionsmessungen. Diese zeigten - verglichen mit den Absorptionswerten einer Verdünnungs-Reihe der gefärbten Flüssigkeit **13** als Referenz (ohne Kapillarstruktur **17**) - bereits nach wenigen Stunden einen eindeutigen Flüssigkeitsaustausch. Somit ist die mit der Erfindung beanspruchte Mikropumpe **01** mit ihren Modifikationen besonders geeignet für Fluoreszenzmessungen an lebenden Organismen, vergleiche auch die **DE 10 2014 012 130 B3**.

Bezugszeichenliste

01	Mikropumpe
02	Vorratsbereich

03	Arbeitsbereich
04	Kapillarpipette
05	unteres Ende von 06
06	Pipettenspitze
07	Pipetteneinlass
08	Pipettenabschnitt
09	Gasbereich
10	Filter
11	Ballon
12	Anschluss
13	Flüssigkeit
14	Bereich von 15
15	offenes Gewässer
16	Luft
17	Kapillarstruktur
18	Stäbchen als 17
19	Partikel
20	Gaze als 10
21	Dichtring
22	oberes Ende von 18
23	Plattwurm