



(10) **DE 10 2013 004 001 A1** 2014.09.11

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 004 001.9**

(22) Anmeldetag: **08.03.2013**

(43) Offenlegungstag: **11.09.2014**

(51) Int Cl.: **C02F 9/06 (2006.01)**

**C02F 1/461 (2006.01)**

**C02F 1/48 (2006.01)**

**C02F 1/50 (2006.01)**

**C02F 9/12 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Universität Bremen, 28359 Bremen, DE**

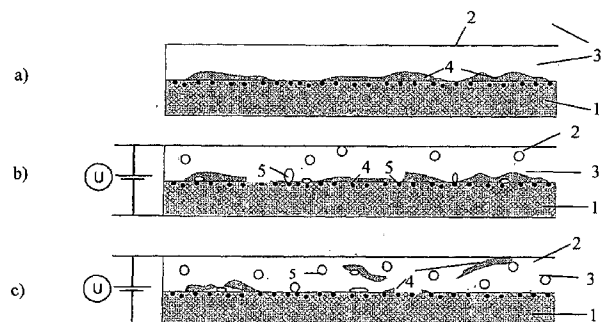
(72) Erfinder:  
**Baune, Michael, Dr., 28215 Bremen, DE; Thöming,  
Jorg, Prof. Dr., 28355 Bremen, DE**

(74) Vertreter:  
**BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft  
mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 28209  
Bremen, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase und Verfahren zu dessen Reinigung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase (3) in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend: eine Filtriereinheit (1), die eine erste Elektrode umfasst; und eine zweite Elektrode (2), derart angeordnet, dass ein direkter Kontakt der zweiten Elektrode (2) mit der Partikel enthaltenden wässrigen Phase (3) oder der aufkonzentrierten Phase gewährleistet ist; wobei zwischen der ersten Elektrode (2) und der zweiten Elektrode ein Spannungsunterschied  $\Delta V$  von  $\Delta V \geq 1.23$  V besteht und ein Verfahren zu dessen Reinigung. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase (3) in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend: eine Filtriereinheit, die ein Mittel zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds umfasst; sowie ein Verfahren zu dessen Reinigung.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase sowie ein Verfahren zu deren Reinigung.

**[0002]** Membranverfahren dienen der Stofftrennung. Sie arbeiten nach dem Prinzip eines Filters, erlauben jedoch, je nach Art der Membran, eine Abtrennung von Partikeln bis zu molekularer Größe. Die abgetrennten Stoffe werden durch die Membran weder chemisch noch biologisch verändert.

**[0003]** Die zu behandelnde Lösung (Feed) wird von der Membran (bzw. allgemeiner von der Filtriereinheit) in eine gereinigte Phase (Filtrat bzw. Permeat) und eine aufkonzentrierte Phase (Konzentrat bzw. Retentat) getrennt. Bei der Auswahl einer geeigneten Membran wird die minimal mögliche Porengröße, neben der Zielvorgabe, welche Stoffe aus der wässrigen Lösung abgetrennt werden sollen, maßgeblich durch das Foulingpotential (und die Verblockungseigenschaften der in der wässrigen Lösung enthaltenen Inhaltsstoffe) beeinflusst.

**[0004]** Um die Leistungsfähigkeit der verwendeten, getauchten Membranen zu erhalten, werden Membranmodule in bestimmten Zeitintervallen belüftet, um anhaftende Verunreinigungen, wie etwa Schlamm, von der Membranoberfläche abzulösen. Die Belüftung erfolgt mit grobblasiger Luft im sogenannten Cross-Flow-Prinzip. Die Spülluftmenge beträgt hierbei 300 bis 1000 l/m<sup>2</sup>·h. Der Energieverbrauch von Membranbelebungsanlagen ist bedingt durch die notwendige Belüftung zur Foulingkontrolle höher als in konventionellen Belebungsanlagen. Getauchte Membranen benötigen zusätzlich eine Energie von etwa 0,4–1 kWh/m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser für die grobblasige Belüftung.

**[0005]** In größeren zeitlichen Abständen werden außerdem (in Abhängigkeit des erforderlichen Transmembrandrucks zur Einstellung eines Filtratvolumenstroms) chemische Reinigungen durchgeführt.

**[0006]** Art der Reinigungen, Auswahl der Reinigungschemikalien und erforderlicher Zeitaufwand werden hierbei sowohl vom Verschmutzungsgrad der Membran als auch vom Membrantyp beeinflusst. Als Reinigungschemikalien kommen Säuren, wie Schwefelsäure, Salpetersäure und unterchlorige Säure zum Einsatz, um anorganische Ausfällungen zu beseitigen, ebenso wie oxidierende Chemikalien, wie Natriumhypochlorid oder -peroxid, um organische Verschmutzungen zu entfernen.

**[0007]** In der biologischen Abwasserbehandlung kommt schwerpunktmäßig eine integrierte Membran-

technik in Form einer Kombination von Membranfiltration und -belebungsverfahren zum Einsatz. Seit 2005 hat sich die mit diesem Verfahren behandelte Abwassermenge mehr als verdoppelt. Europaweit werden zur Zeit täglich mehr als 700.000 m<sup>3</sup> kommunales Abwasser und über 300.000 m<sup>3</sup> industrielles Abwasser mit diesem Verfahren gereinigt.

**[0008]** Nachteile, die mit den beschriebenen, aus dem Stand der Technik bekannten Reinigungsverfahren einhergehen sind höhere Investition- und Betriebskosten, die Schädigung der Membranen, ein hoher technischer Aufwand sowie die Notwendigkeit geschulten Personals, die häufige Verwendung gefährlicher Chemikalien zur Reinigung sowie eine sorgfältige Vorreinigung, um Verstopfungen und Verblockungen zu verhindern.

**[0009]** Ebenso ist der Einsatz feinporiger Membranen, die gefährliche Stoffe (z. B. Arzneimittelreste oder andere Spurenstoffe) zurückhalten können, mit den derzeitigen Reinigungsverfahren nicht möglich. Grund hierfür ist, dass mit einer geringen Porengröße die Leistungsfähigkeit der Membranen in Folge einer erhöhten Foulingneigung drastisch absinkt.

**[0010]** DE 20 2006 020 049 U1 beschreibt ein Verfahren, in dem zusätzliche chemische und mechanische Reinigungsschritte verwendet werden.

**[0011]** US 5,043,048 offenbart die Reinigung von Membranen durch Unterstützung eines elektrischen Feldes. Hierbei soll der Membranfluss durch ein anliegendes, gepulstes elektrisches Feld verbessert werden, indem sich geladene Partikelkolloide aus der Lösung von der Membran fortbewegen und so eine sedimentierte Schicht zwar nicht abgetragen aber die Anlagerung, die zur Bildung einer solchen Schicht führt, verringert wird.

**[0012]** DE 10 2005 049 388 A1 beschreibt ein Verfahren zur Vermeidung oder Verminderung von Biofilmen auf Membranoberflächen, indem die Oberfläche durch eine leitfähige Polymerbeschichtung polarisierbar gemacht wird. Durch die Polarisierung der Membranoberfläche bei –600 bis +700 mV soll hierbei die Anlagerung geladener Biomoleküle vermindert oder vermieden werden.

**[0013]** Die aufgeführten alternativen Reinigungsverfahren sind allerdings in ihrer Wirkung und Effektivität stark limitiert.

**[0014]** Es ist demnach die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Aufgabe, Möglichkeiten zur Reinigung von Filtriereinheiten, insbesondere von Membranen in Membranfiltrationsprozessen, zur Verfügung zu stellen, die aus dem Stand der Technik bekannte Nachteile überwinden. Insbesondere soll eine effektivere Möglichkeit zur Verhinderung der

Bildung sowie vor allem die Möglichkeit des Abtragens eines Belags (sogenanntes Fouling) auf der Filtereinheit zur Verfügung gestellt werden, die die Notwendigkeit energie- und kostenintensiver Reinigungsschritte verringert oder gänzlich unnötig macht. Ebenso ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung die Notwendigkeit der chemischen Reinigung der Filtereinheit unter Verwendung gefährlicher Chemikalien zu verringern.

**[0015]** Diese Aufgaben werden gelöst durch eine Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend: eine Filtriereinheit, die eine erste Elektrode umfasst; und eine zweite Elektrode, derart angeordnet, dass ein direkter Kontakt der zweiten Elektrode mit der Partikel enthaltenden wässrigen Phase oder der aufkonzentrierten Phase gewährleistet ist; wobei zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode ein Spannungsunterschied  $\Delta V$  von  $\Delta V \geq 1.23$  V besteht.

**[0016]** Die Filtriereinheit ist geeignet, beim Durchleiten der Partikel enthaltenden wässrigen Phase durch die Filtriereinheit zumindest einen Teil der Partikel zurückzuhalten.

**[0017]** Bei der Partikel enthaltenden wässrigen Phase kann es sich prinzipiell um eine beliebige, Partikel enthaltende wässrige Phase handeln. Erfindungsgemäß bevorzugt vorgesehen ist, dass es sich bei der Partikel enthaltenden wässrigen Phase um Abwasser handelt, wie es gewöhnlicherweise in einer Kläranlage vorkommt, vorzugsweise im Belebungsbecken einer Kläranlage.

**[0018]** Der Begriff „Partikel“ ist weit auszulegen. Erfindungsgemäß umfasst der Begriff „Partikel“ alle Arten fester Verunreinigungen, die in der wässrigen Phase enthalten sein können. Insbesondere sollen als Partikel Reste biologischen Materials und Mikroorganismen, allerdings auch anorganische Salzcluster, Medikamentenreste oder andere Spurenstoffe verstanden werden. Die Art und Größe der von der Filtrationseinheit zurückgehaltenen Partikel hängt von der Beschaffenheit der verwendeten Filtrationseinheit, insbesondere von deren Porengröße ab.

**[0019]** Erfindungsgemäß soll unter einer Filtriereinheit im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung verstanden werden, die ein Material umfasst, das geeignet ist, Partikel von einer Flüssigkeit zumindest teilweise abzutrennen. Zur Auftrennung wird die die Verunreinigungen (Partikel) enthaltende wässrige Phase durch das geeignete Material hindurchgeleitet. Auf diese Weise werden die Verunreinigungen zurückgehalten.

**[0020]** Geeignete Materialien können etwa Membranen, Gitter, Gewebe, Vliese, etc. sein. Geeignete, aus

dem Stand der Technik bekannte Materialien können in einfacher Weise in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Partikel, die aus einer wässrigen Phase abgetrennt werden sollen, ausgewählt werden. Um Partikel einer Größe von mindestens 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser von einer wässrigen Phase abzutrennen, können beispielsweise Gitter oder Membranen mit einer Maschen- bzw. Porengröße von weniger als 1  $\mu\text{m}$  verwendet werden.

**[0021]** Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Filtriereinheit eine erste Elektrode umfasst. Dies kann etwa dadurch erreicht werden, dass ein aus dem Stand der Technik bekanntes, zur Filtration geeignetes Material mit einer leitfähigen Beschichtung versehen wird. Das Aufbringen der Beschichtung kann hierbei etwa im Sprühverfahren, durch Sputter-Coating etc. erreicht werden. Als leitfähige Materialien kommen hierbei Metalle, insbesondere Silber, Gold oder Eisen, Graphit, Carbon-Nanotubes, leitfähige Polymere oder andere leitfähige organische Materialien in Betracht. Prinzipiell ist jedes zur Erzeugung einer leitfähigen Beschichtung geeignete Material erfindungsgemäß vorgesehen.

**[0022]** Ebenso kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass eine zuvor hergestellte Elektrode, mit dem für die Filtrationswirkung verantwortlichen Teil (Material) der Filtriereinheit, etwa einer Membran, in Kontakt gebracht wird. Hierbei kann insbesondere vorgesehen sein, dass die Elektrode in das für die Filtrationswirkung verantwortliche Material eingearbeitet wird.

**[0023]** Ebenso kann vorgesehen sein, dass ein Kontakt zwischen der ersten Elektrode und übrigen Bestandteilen der Filtriereinheit durch Verkleben, Verschmelzen (beispielsweise mittels Druck oder hohen Temperaturen) hergestellt oder intensiviert wird.

**[0024]** Weiterhin kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass das zur Filtration geeignete Material eine Leitfähigkeit aufweist, die den gleichzeitigen Einsatz des Materials als Elektrode ermöglicht. So kann als Filtriereinheit beispielsweise ein Metallgitter oder -vlies verwendet werden.

**[0025]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode ein Spannungsunterschied von zumindest 1,23 V besteht. Diese Spannung ist unter idealen Bedingungen ausreichend, um Wasser elektrolytisch zu zersetzen. In der Praxis kann es allerdings vorteilhaft sein, deutlich höhere Spannungsunterschiede (etwa 5 V) zu verwenden, um möglicherweise auftretende Überspannungseffekte zu kompensieren. Um eine vereinfachte elektrolytische Zersetzung des Wassers zu ermöglichen, kann ferner vorteilhaft vorgesehen sein, dass der die Partikel enthaltenden wässrigen Phase ein Leitsalz, etwa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , zugegeben wird.

**[0026]** Durch den erfindungsgemäßen Spannungsunterschied zwischen der ersten und der zweiten Elektrode von mindestens 1,23 V wird Wasser elektrolytisch zersetzt. Hierbei kommt es zur Gasbildung ( $H_2$  und  $O_2$ ). Dadurch wird erreicht, dass Gasblasen direkt zwischen der Membranoberfläche und dem Membranbelag entstehen. Die Blasen brechen den Belag auf, so dass dieser in einfacher Weise mit dem Flüssigkeitsstrom von der Membranoberfläche fortgespült werden kann, wie schematisch in **Fig. 1** dargestellt. Auf diese Weise ist es möglich, Membranbeläge effektiv im laufenden Prozess zu entfernen und somit konventionelle chemische Reinigungsschritte einzusparen und die Standzeit der Membranen zu erhöhen.

**[0027]** Bevorzugt kann vorgesehen sein, dass die erste Elektrode die Kathode ist und die zweite Elektrode die Anode ist.

**[0028]** Ebenso kann bevorzugt vorgesehen sein, dass die Filtriereinheit eine metallbeschichtete Membran, ein Metallgewebe, eine mit einem Metallgitter in Kontakt stehende Membran, ein Metallvlies, eine Metall-Sinterplatte oder Kombinationen derselben ist. Besonders bevorzugt ist, dass es sich bei dem Metall um Silber, Gold oder Eisen handelt.

**[0029]** Die Aufgaben werden ebenso gelöst durch eine Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend: eine Filtriereinheit, die ein Mittel zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds umfasst.

**[0030]** Die Filtriereinheit ist geeignet, beim Durchleiten der Partikel enthaltenden wässrigen Phase durch die Filtriereinheit zumindest einen Teil der Partikel zurückzuhalten.

**[0031]** Dabei ist bevorzugt, dass das Mittel zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds eine Interdigitalelektrode umfasst.

**[0032]** Dielektrophorese basiert auf dielektrischen Polarisierungseffekten im inhomogenen elektrischen Feld und beschreibt die Bewegung von ungeladenen, aber polarisierbaren Teilchen im inhomogenen, elektrischen Feld. Hierbei ist die Partikelbewegung abhängig von dem Feldgradienten des elektrischen Felds und ihre Richtung von der relativen Polarisierbarkeit der Partikel. Die Kraft, die auf die Partikel wirkt, ist dabei auch abhängig von der Partikelgröße.

**[0033]** Interdigitalelektroden werden häufig in dielektrophoretischen Anwendungen eingesetzt, um ein inhomogenes elektrisches Feld zu erzeugen. Hierbei ragen zwei kammerartige Elektroden ineinander. Auf diese Weise können sehr geringe Elektrodenabstände realisiert werden.

**[0034]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung löst die Aufgabe der vorliegenden Erfindung dadurch, dass durch Erzeugen einer Wechselfeldspannung in den Mitteln zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds in der die Partikel enthaltenden wässrigen Phase nahe der Filtriereinheit ein inhomogenes elektrisches Feld erzeugt wird. Auf diese Weise wird eine Bewegung der Partikel entlang der Filtriereinheit erreicht und die Anlagerung der Partikel auf der Filtriereinheit unterbunden.

**[0035]** Es ist hervorzuheben, dass die Partikel hierfür nicht geladen sein müssen. Es ist lediglich erforderlich, dass die Partikel polarisierbar sind. Eine solche Polarisierbarkeit ist prinzipiell allen Partikeln eigen, insbesondere größeren Partikeln, worunter Partikel eines Durchmessers von mindestens einem Nanometer verstanden werden sollen.

**[0036]** Die der Erfindung zugrundeliegenden Aufgaben werden ebenfalls gelöst durch ein Verfahren zum Reinigen einer Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend: a) Bereitstellen einer Filtriereinheit, die eine erste Elektrode umfasst; und Bereitstellen einer zweiten Elektrode, derart angeordnet, dass ein direkter Kontakt der zweiten Elektrode mit der Partikel enthaltenden wässrigen Phase oder der aufkonzentrierten Phase gewährleistet ist; b) Erzeugen eines Spannungsunterschieds  $\Delta V$  von  $\Delta V \geq 1.23$  V zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode, und c) Elektrolyse des Wassers der Partikel enthaltenden wässrigen Phase unter Gasbildung an der Oberfläche der Filtriereinheit.

**[0037]** Dabei ist bevorzugt, dass die erste Elektrode die Kathode ist; die zweite Elektrode die Anode ist; und das an der Oberfläche der Filtriereinheit gebildete Gas Wasserstoff ist.

**[0038]** Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird ebenfalls gelöst durch ein Verfahren zum Reinigen in einer Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend: a) Bereitstellen einer Filtriereinheit, die ein Mittel zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds umfasst; b) Erzeugen eines Wechselstroms in dem Mittel zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds und Ausbilden eines inhomogenen elektrischen Felds.

**[0039]** Überraschenderweise wurde festgestellt, dass mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtungen und Verfahren aus dem Stand der Technik bekannte Nachteile, die mit der Reinigung von Filtriereinheiten, insbesondere in Kläranlagen, einhergehen, überwunden werden können. Insbesondere wurde überraschenderweise festgestellt, dass durch die erfin-

dungsgemäßen Vorrichtungen und Verfahren eine effektivere Reinigung von Filtriereinheiten in energie- und damit kostensenkender Weise durchgeführt werden kann.

**[0040]** Im Einzelnen weist die vorliegende Erfindung gegenüber dem Stand der Technik die Vorteile auf, dass keine Belüftung mit grobblasiger Luft (300 bis 1.000 l/m<sup>2</sup>·h) im Cross-Flow-Prinzip erforderlich ist, die Zahl der Rückspülintervalle (auch mit chemischer Reinigung) verringert werden kann, ein verringerter Chemikalienverbrauch vonnöten ist, somit eine verlängerte Standzeit der Membranmodule möglich ist und somit erwartete Kosteneinsparungen für den Betrieb und Reinigungsaufwand von ca. 25% erreicht werden können.

**[0041]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden detaillierten Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen, insbesondere vor dem Hintergrund der Ausführungsbeispiele und Figuren, wobei

**[0042]** Fig. 1 eine schematische Darstellung der Belagabreinigung durch über Elektrolyse erzeugte Gasblasen in oder an der oberen Schicht der Membran ist;

**[0043]** Fig. 2 den Permeatfluss durch ein Metallvlies ohne elektrisches Feld zeigt;

**[0044]** Fig. 3 den Permeatfluss durch ein Metallvlies mit einem getakteten elektrischen Feld zeigt;

**[0045]** Fig. 4 den Permeatfluss durch ein Metallvlies mit einem kontinuierlich anliegendem elektrischen Feld zeigt;

**[0046]** Fig. 5 den Permeatfluss durch eine Metall-Sinterplatte ohne elektrisches Feld zeigt;

**[0047]** Fig. 6 den Permeatfluss durch eine Metall-Sinterplatte mit einem getakteten elektrischen Feld zeigt;

**[0048]** Fig. 7 den Permeatfluss durch eine Metall-Sinterplatte mit einem kontinuierlich anliegendem elektrischen Feld zeigt.

**[0049]** Bezug nehmend auf Fig. 1, soll im folgenden das erfindungsgemäße Verfahren am Beispiel einer bevorzugten Ausführungsform erläutert werden. Fig. 1a zeigt eine Vorrichtung, die in einem erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt wird. Sie umfasst eine Filtriereinheit 1, die eine erste Elektrode umfasst, sowie eine zweite Elektrode 2. Zwischen der Filtriereinheit 1 und der zweiten Elektrode 2 (sowie die zweite Elektrode 2 umgebend) befindet sich eine wässrige Phase 3. Diese enthält Partikel, die sich beim Durchleiten der wässrigen Phase 3 durch die

Filtriereinheit 1 auf der Oberfläche der Filtriereinheit 1 in Form von Belägen 4 abgelagern.

**[0050]** Fig. 1b zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung, in der zwischen der in der Filtriereinheit 1 enthaltenden ersten Elektrode und der zweiten Elektrode 2 ein Spannungsunterschied von mindestens 1,23 V besteht. Durch diese Spannung wird eine elektrolytische Zersetzung des Wassers der die Partikel enthaltenden wässrigen Phase 3 erreicht, die mit der Bildung von Gasbläschen 5 einhergeht. Wie in Fig. 1b zu erkennen ist, werden die Gasbläschen 5 nicht ausschließlich an den Stellen der Oberfläche der Filtriereinheit 1 gebildet, die nicht durch einen Belag 4 bedeckt sind, sondern auch an der Grenzfläche zwischen der Filtriereinheit 1 und dem Belag 4. Auf diese Weise wird die Bindung zwischen dem Belag 4 und der Filtriereinheit 1 geschwächt.

**[0051]** Schließlich, wie in Fig. 1c dargestellt, führt die Bildung von Gasblasen 5 zwischen der Filtriereinheit 1 und Belägen 4 zum Ablösen der Beläge 4 von der Filtriereinheit 1, so dass die Beläge durch den Strom der wässrigen Phase 3 von der Filtriereinheit 1 wegtransportiert werden. Auf diese Weise wird die Verblockung (Fouling) der Filtriereinheit 1 durch die Beläge 4 verringert bzw. unterbunden.

#### Ausführungsbeispiele

**[0052]** Die Funktionsfähigkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtungen sowie der erfindungsgemäßen Verfahren wurde anhand zweier Beispiele, in denen verschiedene Filtrationseinheiten verwendet wurden, untersucht. Hierbei wurde zum einen ein Metallvlies und zum anderen eine Metall-Sinterplatte als elektrisch leitende Membran (Filtriereinheit) eingesetzt.

#### Metallvlies:

**[0053]** Als Filtriereinheit wurde ein Metallvlies aus nicht rostendem Stahl DIN 1.4401/AISI 316 (Firma Spörl KG) mit einer Porengröße von 0,5 µm (142.000 Poren/cm<sup>2</sup>) getestet. Eine Gasblasenbildung wurde bei einer Spannung von 3 V beobachtet.

**[0054]** Fig. 2 zeigt den Permeatfluss durch das Metallvlies ohne elektrisches Feld. Am zweiten Tag konnte nahezu kein Permeatfluss mehr beobachtet werden.

**[0055]** Es war schon nach wenigen Stunden ein Leistungsabfall von über 50% festzustellen. Nach 24 h sank der Permeatfluss bereits auf 3,31%. Hierdurch wird deutlich, wie schnell eine nahezu vollständige Verblockung der Membran auftritt.

**[0056]** Fig. 3 zeigt den Permeatfluss durch das Metallvlies mit einem getakteten elektrischen Feld. Die Taktung erfolgte derart, dass in Abständen von 12

Minuten das Feld für 1 Minute eingeschaltet wurde. Der Permeatfluss blieb in den darauffolgenden Tagen konstant bei über 20%.

**[0057]** Der Energieverbrauch pro  $m^3$  abgezogenes Permeat schwankte zwischen 0,06 kWh und 0,084 kWh. Der Energieverbrauch einer mit Druckluft gespülten Membran des Stands der Technik beträgt 0,3–0,7 kWh/ $m^3$ . Man erreicht demnach im Idealfall eine Senkung des Verbrauchs von 90%.

**[0058]** Diese Versuche zeigen auch, dass ein getaktetes elektrisches Feld den Foulingprozess nur bedingt verhindern kann. Eine irreversible Deckschicht bildet sich in den Offline-Phasen aus und senkt somit den Permeatfluss.

**[0059]** Um diesen Nachteil zu umgehen, wurde ebenfalls ein dauerhaft eingeschaltetes elektrisches Feld getestet. **Fig. 4** zeigt den Permeatfluss durch das Metallvlies mit einem kontinuierlich anliegendem elektrischen Feld. Der Permeatfluss blieb in diesem Fall auch in den Folgetagen bei über 75%. Nach einer zweitägigen Unterbrechung, in der kein Feld anlag, konnte noch ein Permeatfluss von 40% erzielt werden.

**[0060]** Nach 24 Stunden im Belebungsbecken fiel der Permeatfluss lediglich auf 77,17%. Im Vergleich zu einem Abfall auf 26% bei den anderen Taktungen ist dies eine enorme Steigerung der Leistungsfähigkeit. Hierfür musste eine Energie von 0,268 kWh/ $m^3$  aufgebracht werden.

**[0061]** Diese Versuche zeigen deutlich, dass ein angelegtes Feld Fouling effektiv verhindert und ebenso eine Deckschicht auf der Membran aufbrechen kann.

Metall-Sinterplatte:

**[0062]** **Fig. 5** zeigt den Permeatfluss durch eine Metall-Sinterplatte ohne elektrisches Feld. Der Permeatfluss reduzierte sich in diesem Fall in den Folgetagen drastisch.

**[0063]** Ohne elektrisches Feld fiel der Permeatfluss der Sinterplatte nach 24 h auf 38,89% und nach 48 Stunden auf 11,11%. Dies zeigt, dass die Sinterplatte langsamer verblockt als das im vorangehenden beschriebene Metallvlies.

**[0064]** **Fig. 6** zeigt den Permeatfluss durch die Metall-Sinterplatte mit einem getakteten elektrischen Feld (in 12 Min. war das Feld für 1 Min. eingeschaltet).

**[0065]** Es konnte beobachtet werden, dass der Permeatfluss lediglich auf etwa 50% zurückgeht und auch nach einer Phase ohne elektrisches Feld nach 2 Tagen noch 40% des ursprünglichen Permeatflusses zu verzeichnen waren. Der Energieverbrauch lag

hierbei bei maximal 0,05 kWh/ $m^3$  und war somit 60-mal niedriger als bei konventionellen Lösungen.

**[0066]** **Fig. 7** zeigt den Permeatfluss durch eine Metall-Sinterplatte mit einem kontinuierlich anliegenden elektrischen Feld. Der Permeatfluss blieb in den Folgetagen unverändert hoch. Nach einer zweitägigen Unterbrechung, in der kein Feld anlag, konnte noch ein Permeatfluss von über 60% erzielt werden.

**[0067]** Obwohl hierbei (im Vergleich zur 1:12-Taktung) 12-mal mehr Energie eingetragen wurde, konnte dieses nahezu vollständig durch die höheren Flussraten kompensiert werden, so dass der Energieverbrauch pro  $m^3$  sich lediglich verdoppelte. Somit wurde immer noch lediglich 1/30 der Energiemenge benötigt, die aus Verfahren des Stands der Technik bekannt ist.

**[0068]** Zusammenfassend konnte durch die Experimente deutlich gezeigt werden, dass erfindungsgemäße Vorrichtungen und Verfahren eine Alternative zu herkömmlichen Verfahren darstellen.

**[0069]** Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Ansprüchen sowie in den Zeichnungen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 202006020049 U1 [0010]
- US 5043048 [0011]
- DE 102005049388 A1 [0012]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- DIN 1.4401 [0053]
- AISI 316 [0053]

**Patentansprüche**

1. Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase (3) in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend: eine Filtriereinheit (1), die eine erste Elektrode umfasst; und eine zweite Elektrode (2), derart angeordnet, dass ein direkter Kontakt der zweiten Elektrode (2) mit der Partikel enthaltenden wässrigen Phase (3) oder der aufkonzentrierten Phase gewährleistet ist; wobei zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode (2) ein Spannungsunterschied  $\Delta V$  von  $\Delta V \geq 1.23$  V besteht.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die erste Elektrode die Kathode ist und die zweite Elektrode (2) die Anode ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Filtriereinheit (1) eine metallbeschichtete Membran, ein Metallgewebe, eine mit einem Metallgitter in Kontakt stehende Membran, ein Metallvlies, eine Metall-Sinterplatte oder Kombinationen derselben ist.

4. Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase (3) in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend: eine Filtriereinheit, die ein Mittel zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds umfasst.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei das Mittel zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds eine Interdigitalelektrode umfasst.

6. Verfahren zum Reinigen einer Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen Phase (3) in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend:

a) Bereitstellen einer Filtriereinheit (1), die eine erste Elektrode umfasst; und Bereitstellen einer zweiten Elektrode (2), derart angeordnet, dass ein direkter Kontakt der zweiten Elektrode (2) mit der Partikel enthaltenden wässrigen Phase (3) oder der aufkonzentrierten Phase gewährleistet ist;

b) Erzeugen eines Spannungsunterschieds  $\Delta V$  von  $\Delta V \geq 1.23$  V zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode (2), und

c) Elektrolyse des Wassers der Partikel enthaltenden wässrigen Phase (3) unter Gasbildung an der Oberfläche der Filtriereinheit (1).

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die erste Elektrode die Kathode ist; die zweite Elektrode (2) die Anode ist; und das an der Oberfläche der Filtriereinheit gebildete Gas Wasserstoff ist.

8. Verfahren zum Reinigen einer Vorrichtung zum Auftrennen einer Partikel enthaltenden wässrigen

Phase (3) in eine gereinigte Phase und eine aufkonzentrierte Phase, umfassend:

a) Bereitstellen einer Filtriereinheit, die ein Mittel zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds umfasst;

b) Erzeugen eines Wechselstroms in dem Mittel zur Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Felds, und Ausbilden eines inhomogenen elektrischen Felds.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

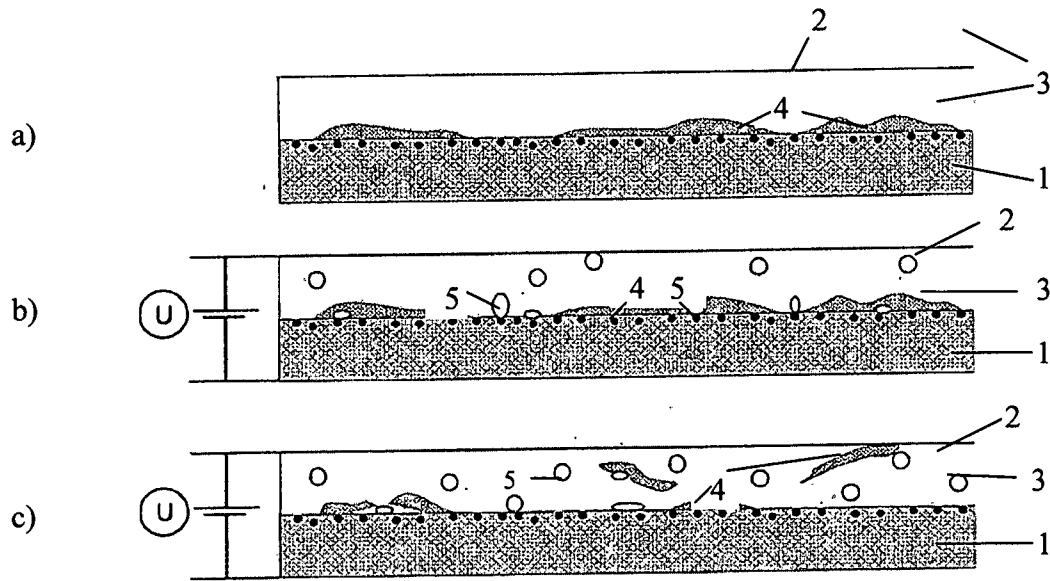


Fig. 1

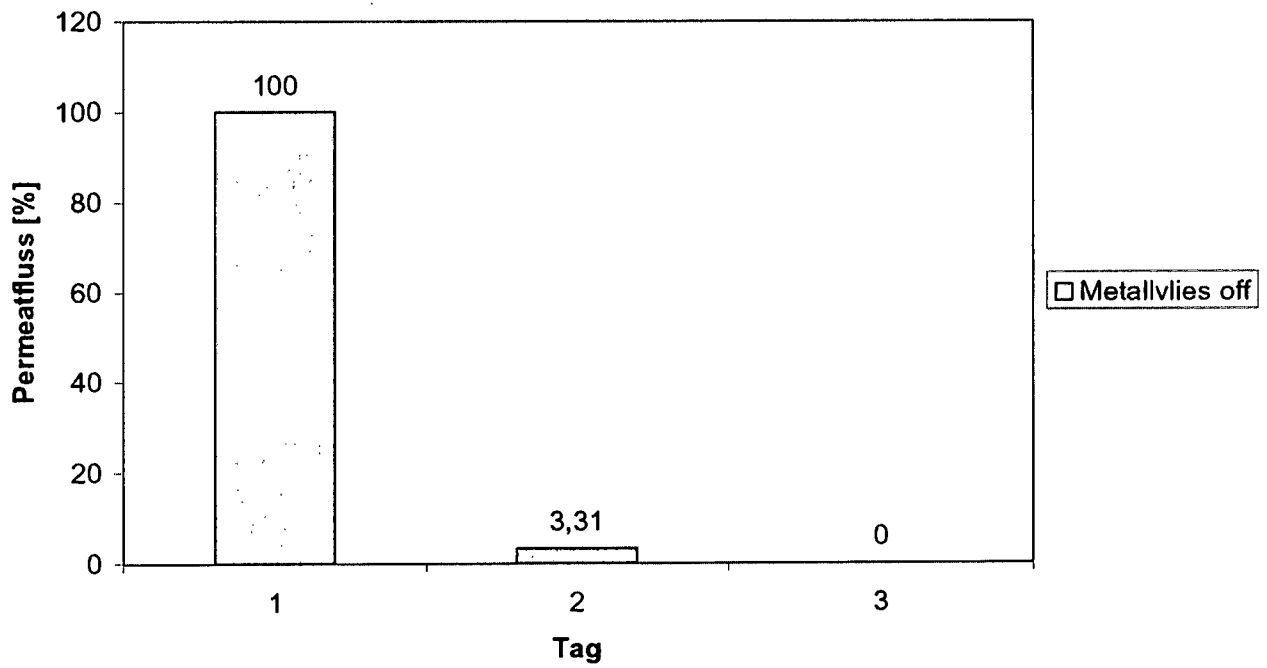


Fig. 2

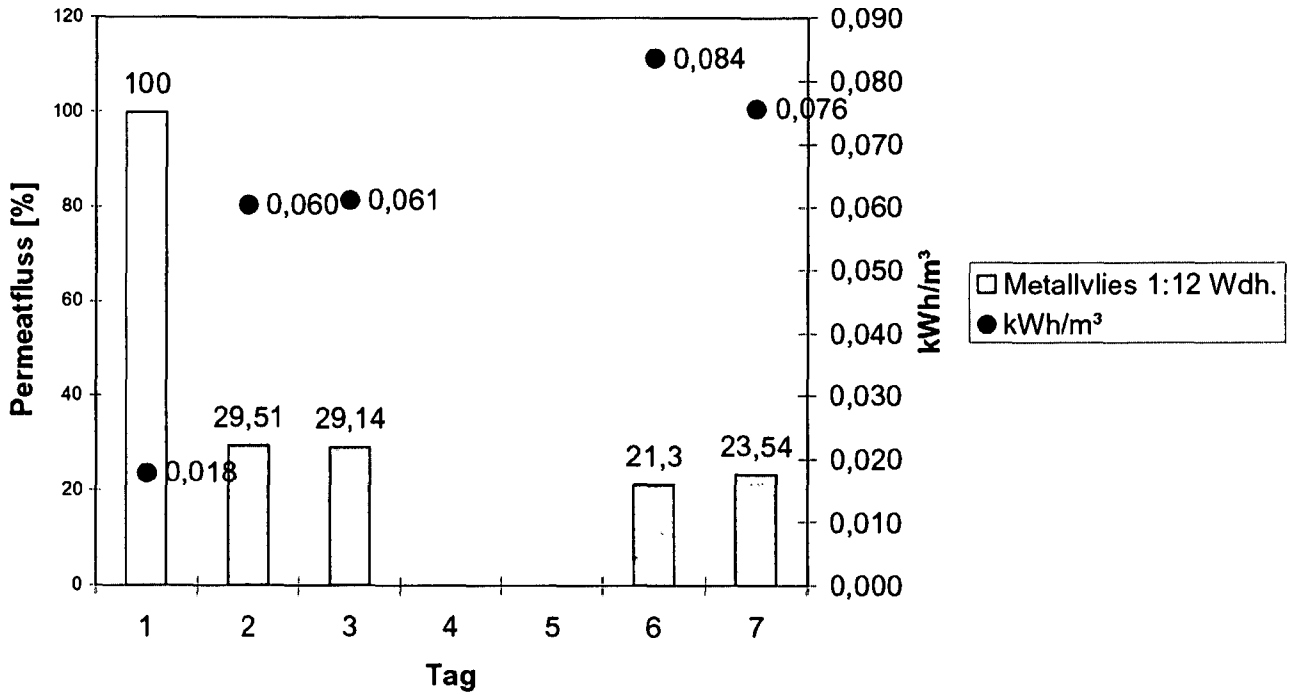


Fig. 3

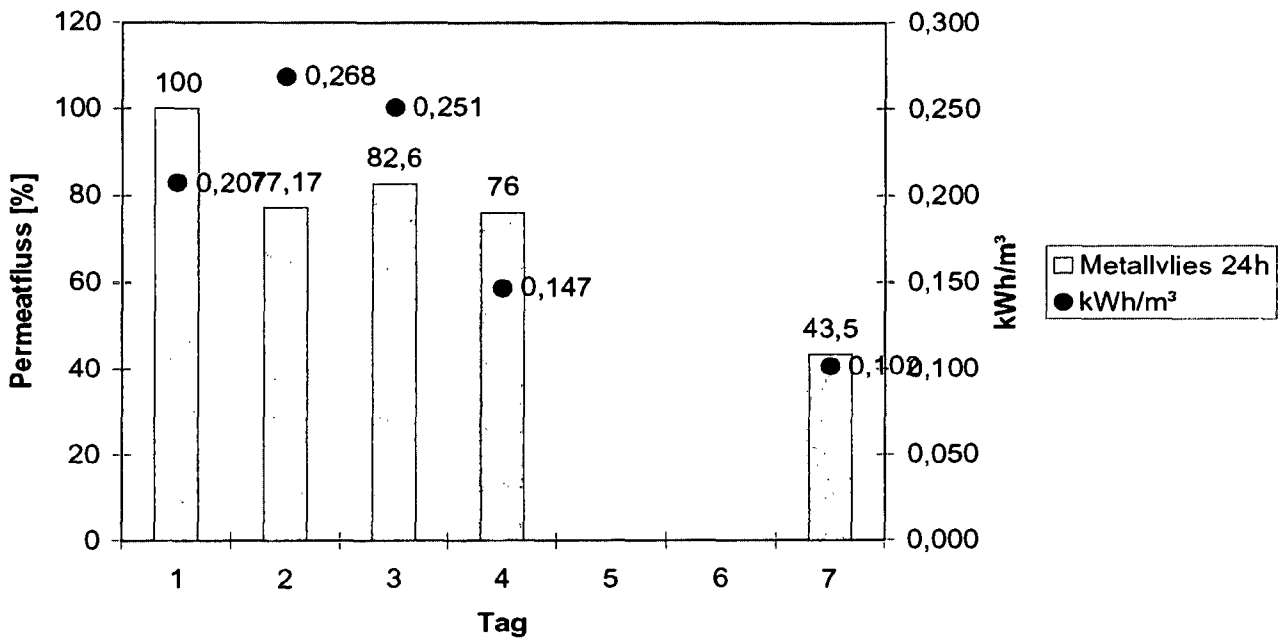


Fig. 4

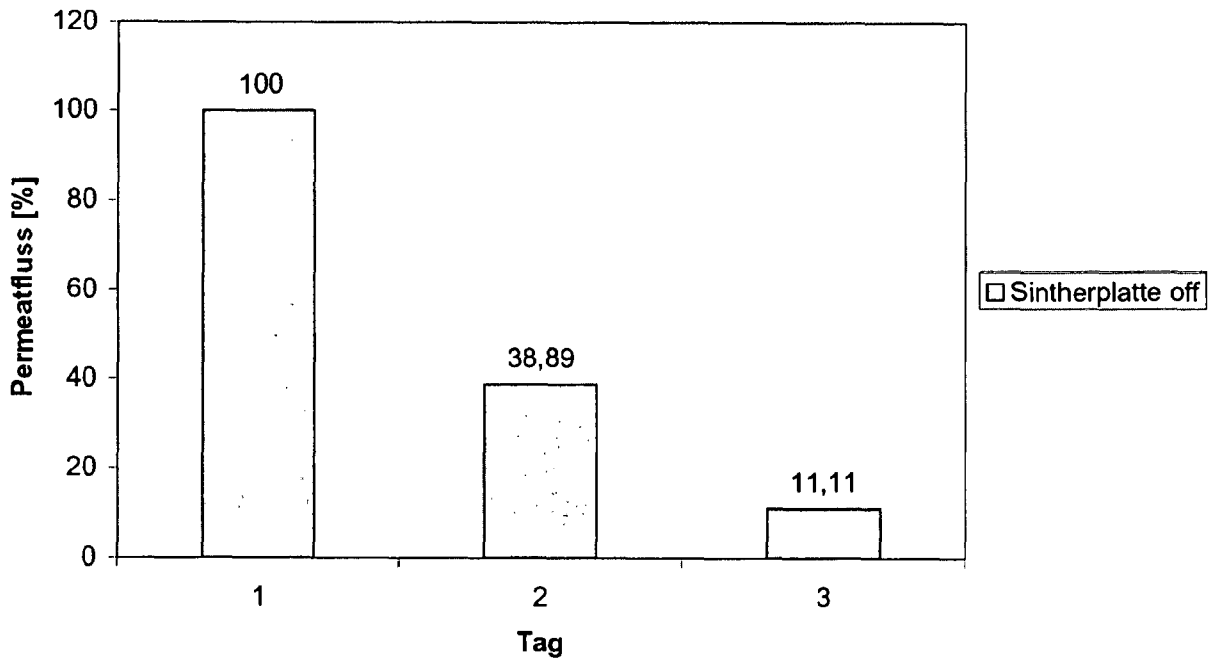


Fig. 5

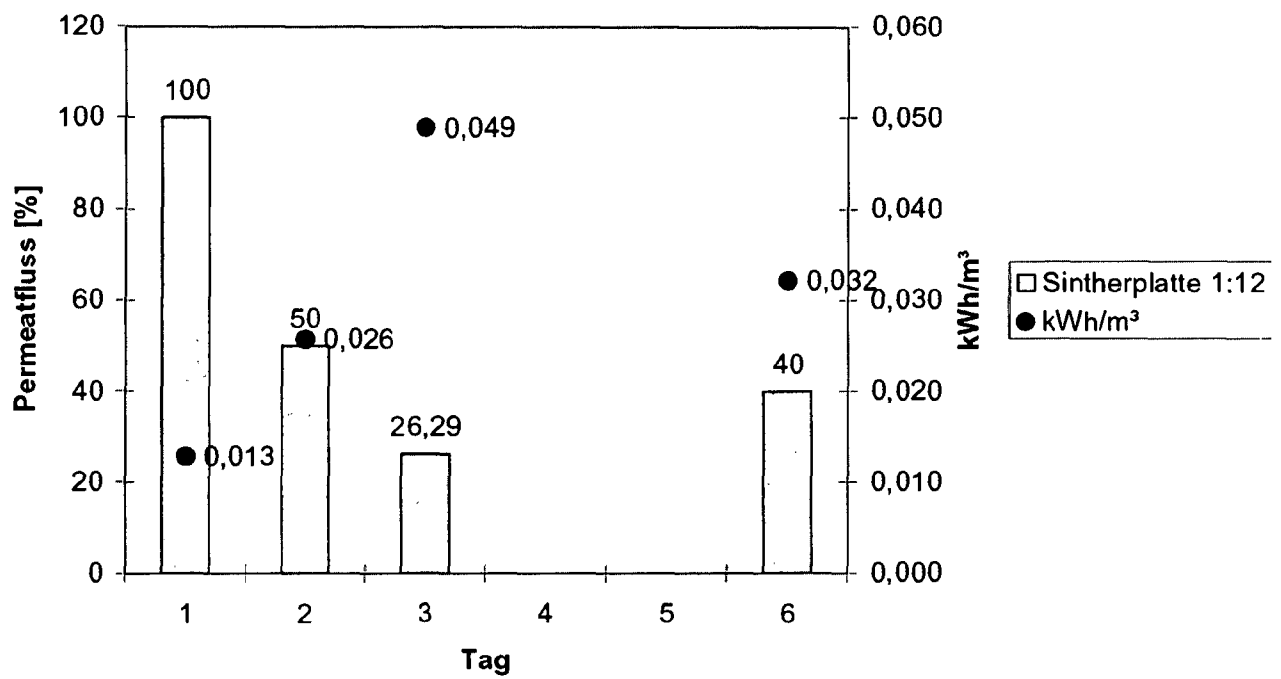


Fig. 6

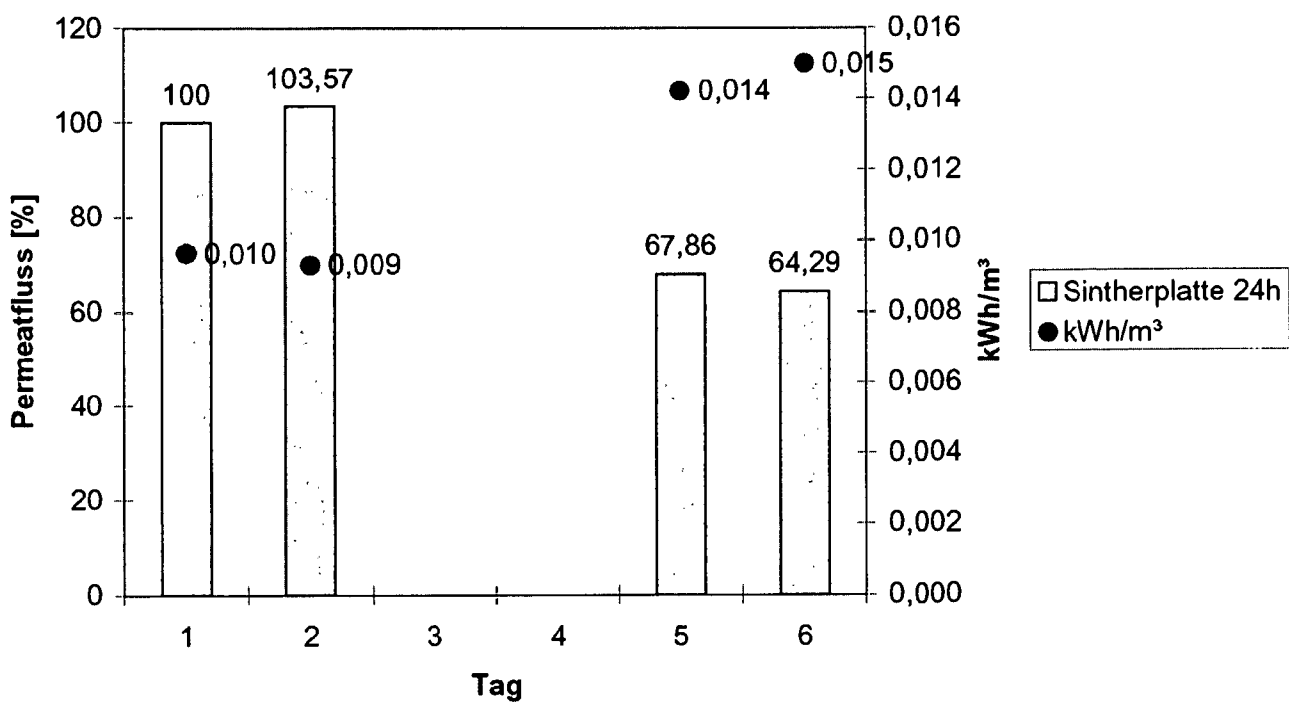


Fig. 7