

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Elektrolyseanlage, insbesondere zur Wasserelektrolyse, eine solche Elektrolyseanlage, die z.B. zur Gewinnung von Wasserstoff eingesetzt wird, sowie eine Verwendung und ein Verfahren zur Herstellung eines Axialzyklons.

Stand der Technik

[0002] Zur Gewinnung von Wasserstoff kann die sog. Elektrolyse eingesetzt werden, bei der z.B. Wasser durch elektrische Energie in Sauerstoff und Wasserstoff aufgespalten bzw. umgesetzt wird. Hierbei wird auch von der Wasser-Elektrolyse gesprochen. Hier kommt z.B. die sog. Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse (PEM-Elektrolyse, "Proton Exchange Membrane"-Elektrolyse) in Betracht.

[0003] Bei der Elektrolyse von Wasser kommt es in der Regel zu einem Temperaturanstieg des Wassers. Um den Temperaturanstieg zu begrenzen, können große Mengen an Wasser umgewälzt werden. Ein Großteil des Wassers verbleibt bei der PEM-Elektrolyse in diesem Fall in der Regel auf der Sauerstoffseite der Membran. Während der Wasserstoff z.B. durch die Membran diffundiert, verbleibt der Sauerstoff zunächst im Wasser und wird danach typischerweise in einem Behälter aus dem Wasser abgeschieden, zumindest derjenige Anteil an Sauerstoff, der über die Löslichkeitsgrenze in Wasser bei gegebenen Bedingungen hinausgeht. Der Behälter wird also als Gas-Abscheider bzw. in diesem Fall insbesondere als Sauerstoff-Abscheider bzw. Sauerstoff-Wasser-Abscheider verwendet.

[0004] Sauerstoff bzw. Sauerstoffblasen benötigen jedoch eine gewisse Zeit, um im Wasser an die Oberfläche zu steigen und als abgeschieden zu gelten; die genaue Zeit kann z.B. von Flussrichtung und Größe des Behälters abhängen. Je höher die Verweildauer des Wassers (mit ggf. darin gelöstem Sauerstoff) im Behälter ist, desto größer muss dieser jedoch sein, um die nötige Menge an der PEM bzw. der Elektrolyseeinheit umwälzen zu können. Dies kann zu hohen Kosten führen. Dies trifft im Grunde auch auf andere Arten der Elektrolyse zu, bei denen ein Gas in umgewälztem flüssigem Medium verbleibt. Verbleibender Sauerstoff im Wasser kann sich negativ auf die Elektrolyse auswirken. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Aufgabe, das Abscheiden von Gas wie z.B. Sauerstoff aus einer Flüssigkeit wie z.B. Wasser zu verbessern.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Betreiben einer Elektrolyseanlage, eine Elektrolyseanlage sowie eine Verwendung und ein Verfahren zur Herstellung eines Axialzyklons mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Ausgestaltungen

sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

Vorteile der Erfindung

[0006] Die Erfindung beschäftigt sich mit der Elektrolyse sowie Elektrolyseanlagen bzw. deren Betrieb. Elektrolyseanlagen dienen typischerweise dem Erzeugen oder Gewinnen von Wasserstoff mittels Elektrolyse. Hier wird dann von der sog. Wasser-Elektrolyse gesprochen, bei der Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff umgesetzt (gespalten) wird (neben Wasserstoff wird also zugleich auch immer Sauerstoff gewonnen bzw. erzeugt). Bei der Wasser-Elektrolyse gibt es z.B. die sog. alkalische Wasser-Elektrolyse (AEL, "Alkaline Electrolysis") oder die sog. Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse (PEM-Elektrolyse, "Proton Exchange Membrane"-Elektrolyse). Die Grundlagen hierzu sind an sich bekannt, z.B. aus "Bessarabov et al: PEM electrolysis for Hydrogen production. CRC Press."

[0007] Daneben gibt es auch die sog. Festoxid-Elektrolyseurzellen-Elektrolyse (SOEC-Elektrolyse, "Solid Oxide Electrolysis Cell"-Elektrolyse) und die Anionen-Austausch-Membran-Elektrolyse (AEM-Elektrolyse, "Anion Exchange Membrane"-Elektrolyse). Insbesondere diejenigen Elektrolyse-Technologien, die bei niedrigen Temperaturen erfolgen, also z.B. die PEM-, AEL- und AEM-Elektrolyse, eignen sich aufgrund der Möglichkeiten eines flexiblen Betriebs zur Unterstützung des Übergangs der Energiegewinnung hin zu erneuerbaren Energien.

[0008] Die Festoxid-Elektrolyseurzellen-Elektrolyse eignet sich dabei z.B. auch zur Gewinnung von Kohlenstoffmonoxid aus Kohlenstoffdioxid, also zur Kohlenstoffdioxid-Elektrolyse (CO₂-Elektrolyse); ebenso gibt es die sog. Co-Elektrolyse, bei der Kohlenstoffdioxid und Wasser in verschiedene Produkte wie z.B. CO, Synthesegas oder auch Ethylen, Ethanol, Format umgewandelt werden. Ebenso gibt es die sog. Chlor-Alkali-Elektrolyse.

[0009] Bei der PEM-Elektrolyse z.B. wird Wasser, und zwar insbesondere demineralisiertes Wasser, als Einsatzmedium einer Elektrolyseeinheit mit einer Protonen-Austausch-Membran (PEM) zugeführt, in der das Einsatzmedium, also das Wasser, in Wasserstoff und Sauerstoff umgesetzt (gespalten) wird.

[0010] Bei der PEM-Elektrolyse von Wasser kommt es in der Regel zu einem Temperaturanstieg des Wassers. Um den Temperaturanstieg zu begrenzen, können große Mengen an Wasser umgewälzt werden. Ein Großteil des Wassers verbleibt bei der PEM-Elektrolyse in diesem Fall in der Regel auf der Sauerstoffseite der Membran bzw. der Sauerstoffseite der Elektrolyseeinheit. Während der Wasserstoff z.B. durch die Membran diffundiert, verbleibt der Sauerstoff zunächst im Wasser und wird danach typischerweise in einem Behälter aus dem Wasser abgeschieden, zumindest derjenige Anteil an Sauerstoff, der über die (maximale) Löslichkeit in Wasser hinausgeht.

[0011] Sauerstoff bzw. Sauerstoffblasen benötigen je-

doch eine gewisse Zeit, um aufgrund der Dichtedifferenz im Wasser an die Oberfläche zu steigen und als abgeschieden zu gelten; die genaue Zeit kann z.B. von Blasengröße, Flussrichtung und Größe des Behälters abhängen. Je höher die Verweildauer des Wassers im Behälter ist, desto größer muss dieser jedoch sein, um die nötige Menge an der PEM umwälzen zu können. Dies kann zu hohen Kosten führen. Wird die Verweildauer im Behälter zu kurz gehalten, kann Sauerstoff im Wasser verbleiben. Insbesondere Kleinblasen an Sauerstoff können die Elektrolyse negativ beeinträchtigen, insbesondere hinsichtlich Leistung, Effizienz und Lebensdauer der Elektrolyseanlage bzw. der Elektrolyseeinheit.

[0012] Vor diesem Hintergrund wird der Einsatz eines oder ggf. mehrerer Axialzyklone in einer Elektrolyseanlage vorgeschlagen, insbesondere sog. Inline-Axialzyklone, d.h. Axialzyklone, die in Leitungen bzw. Rohren eingebaut bzw. angeordnet werden. Ein Axial-Zyklon weist ein sog. Leitelement (auch als "swirl element" bezeichnet) auf, das in einem Fluidstrom liegt. Mit dem Leitelement wird dem Fluid ein Drall aufgezwungen, der dazu führt, dass die schwerere Phase des Fluidstroms sich am Rand des Axialzyklons bzw. der Leitung sammelt, die leichtere Phase hingegen in der Mitte, also in der Kernströmung liegt. Beide Phasen können dann - zumindest bis zu einem gewissen Grad - getrennt voneinander abgezogen werden.

[0013] Eine typische Nutzung solcher Axialzyklone ist eigentlich in Unterseeanwendungen z.B. bei der Erdölförderung. Dort wird das Erdöl von Wasser getrennt, so dass das Erdöl gewonnen werden kann. Die Erfinder haben nunmehr aber erkannt, dass mittels eines solchen Axialzyklons auch besonders gut ein Gas wie z.B. Sauerstoff von einer Flüssigkeit wie z.B. Wasser abgetrennt werden kann.

[0014] Wie erwähnt, wird bei einer Elektrolyseanlage Wasser mit ggf. Sauerstoff darin umgewälzt; dies erfolgt zwischen der Elektrolyseeinheit mit z.B. der PEM und dem Behälter, in dem z.B. der Sauerstoff vom Wasser abgeschieden wird. Entsprechend sind zwischen dem Behälter und der Elektrolyseeinheit mehrere Fluidleitungen vorgesehen, und zwar einerseits in Strömungsrichtung von dem Behälter zur Elektrolyseeinheit und andererseits in Strömungsrichtung von der Elektrolyseeinheit zum Behälter. In jede Richtung können jeweils eine oder mehrere Fluidleitungen vorgesehen sein, je nach Größe oder Durchmesser der Fluidleitungen und Größe der Elektrolyseanlage. Bei einer Elektrolyseanlage mit einer Leistung von 24 MW können z.B. ein oder zwei Fluidleitungen, z.B. in Form von Rohren, mit einem Durchmesser von beispielsweise 700 mm je Strömungsrichtung verwendet werden.

[0015] Ein Axialzyklon wird hier nun derart angeordnet bzw. verwendet, dass ein Fluidstrom mit Wasser und zumindest zeitweise Sauerstoff durch den Axialzyklon geführt wird. Hierzu kann der Axialzyklon in einer der erwähnten Fluidleitungen angeordnet werden. Bei mehreren Fluidleitungen in einer Strömungsrichtung kann auch

in jeder Fluidleitung ein Axialzyklon angeordnet werden. Die in aller Regel ohnehin nötigen Fluidleitungen bzw. Rohre eignen sich besonders für den Einsatz von Axialzyklonen.

5 **[0016]** Der Sauerstoff sammelt sich nach dem Axialzyklon (in Strömungsrichtung) in der Mitte des Rohres bzw. zentral und kann von dort dann abgeführt werden, z.B. durch eine dort eingebrachte dünne Leitung, die nach außen geführt wird.

10 **[0017]** Durch die hohen Beschleunigungen von bis zu 100 g in radialer Richtung spielt es dabei auch keine Rolle, ob der Axialzyklon vertikal oder horizontal angeordnet wird. Die Axialzyklone können mit Geschwindigkeiten ab z.B. ca. 2 m/s (und höher) betrieben werden, was sehr gut zu den typischen Geschwindigkeiten in einer typischen Elektrolyseanlage auf der Sauerstoffseite passt.

15 **[0018]** Besonders zweckmäßig ist es, wenn ein solcher Axialzyklon (oder ggf. auch mehrere) in Strömungsrichtung zwischen der Elektrolyseeinheit und dem Behälter verwendet werden. Damit wird eine erhebliche Menge an Sauerstoff bereits aus dem Fluidstrom bzw. dem Wasser abgeschieden bevor dieser bzw. dieses den Behälter erreicht, der eigentlich zur Sauerstoff-Abscheidung verwendet wird. Entsprechend können sowohl dieser Behälter als auch die Leitungen zwischen Axialzyklon und Abscheider (Behälter) dann deutlich kleiner oder kompakter dimensioniert werden als ohne die Verwendung des Axialzyklons. Eine kompaktere Bauweise erlaubt damit außerdem eine einfachere oder bessere Standardisierung solcher Behälter, z.B. in Skid-Bauweise des Sauerstoff-Wasser-Trennteils.

20 **[0019]** Neben der Grobabscheidung von Sauerstoff ermöglicht der Einsatz eines solchen Axialzyklons (oder ggfs. auch mehreren) die Koaleszenz und/oder Abtrennung von Kleinblasen. Auch in diesem Fall kann der nachfolgende Abscheider kleiner oder kompakter dimensioniert werden als ohne die Verwendung des Axialzyklons. Darüber hinaus können ggfs. Einbauten im Abscheider eingespart werden.

25 **[0020]** Ebenso ist eine zusätzliche Abscheidung von Sauerstoff von dem Wasser mittels Ultraschall zweckmäßig. Durch die Ultraschallbehandlung werden kleine schwebende Gasbläschen aus der Flüssigkeit entfernt und der Gehalt an gelöstem Gas auf den natürlichen Gleichgewichtswert gesenkt. Durch eine Kombination von Axialzyklon(en), Behälter und Ultraschall kann ein noch höherer Abscheidegrad erreicht werden. Der Ultraschall kann dabei z.B. sowohl zwischen Elektrolyseeinheit und Behälter als auch im Behälter selbst angewendet werden.

30 **[0021]** Wenngleich die Elektrolyse bzw. Elektrolyse in Bezug auf die Wasser-Elektrolyse bzw. insbesondere die PEM-Elektrolyse beschrieben wird, so können die erwähnte Axialzyklone auch bei anderen Elektrolyseanlagen wie z.B. vorstehend erwähnt eingesetzt werden, bei denen ein flüssiges Medium in der Elektrolyseeinheit in zumindest ein gasförmiges Produkt umgesetzt wird, und dementsprechend zwischen dem Behälter und der Elek-

trollyseeinheit ein Fluidstrom umgewälzt wird, der flüssiges Medium und zumindest zeitweise Gas aufweist. Die Wirkungsweise des Axialzyklons ist nicht auf Sauerstoff und Wasser beschränkt, sondern erstreckt sich generell auf zwei vermischte Medien, die unterschiedliche Dichte aufweisen, und damit insbesondere auch auf eine Mischung aus Flüssigkeit (flüssiges Medium) und Gas.

[0022] Die in der Elektrolyseanlage verwendeten Axialzyklone müssen ggf. an vorhandene Größen oder Durchmesser von Fluidleitungen bzw. Rohren der Elektrolyseanlage angepasst werden. Insofern ist es besonders zweckmäßig, wenn ein Axialzyklon in Form und/oder Material gezielt an die Verwendung dort angepasst wird. Dies kann besonders einfach und gut erfolgen, wenn der Axialzyklon oder zumindest dessen Leitelement mittels additiver Fertigung ("additive manufacturing", auch als 3D-Druck bekannt) hergestellt wird.

[0023] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert, welche eine Anlage gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0024] Kurze Beschreibung der Zeichnung

Figur 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäßen Elektrolyseanlage in einer bevorzugten Ausführungsform.

Figur 2 zeigt schematisch einen Axialzyklon in einer Rohrleitung.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

[0025] In Figur 1 ist schematisch eine erfindungsgemäße Elektrolyseanlage 100 in einer bevorzugten Ausführungsform dargestellt, bei der auch ein erfindungsgemäßes Verfahren durchführbar ist. Beispielhaft handelt es sich um eine Elektrolyseanlage zur Wasser-Elektrolyse mittels PEM. Insbesondere handelt sich bei der hier gezeigt sowie allgemein im Rahmen der Erfindung beschriebene Elektrolyseanlage um eine Elektrolyseanlage im industriellen Maßstab, um z.B. Wasserstoff in industriellem Maßstab zu gewinnen. Eine typische Leistung einer solchen Elektrolyseanlage liegt z.B. bei mehr als 10 MW oder auch mehr als 20 MW.

[0026] Die Elektrolyseanlage 100 weist eine Elektrolyseeinheit 110, oder auch eine sog. Elektrolysezelle, auf, in der eine Protonen-Austausch-Membran (PEM) 112 vorgesehen ist. Die PEM 112 trennt die Elektrolyseeinheit 110 in eine Sauerstoffseite 114 und eine Wasserstoffseite 116.

[0027] Die Elektrolyseanlage 100 weist weiterhin einen Behälter 120 auf, der als Gas-Abscheider, hier insbesondere als Sauerstoff-Abscheider bzw. Sauerstoff-Wasser-Abscheider dient. Der Behälter 120 ist über eine oder mehrere Fluidleitungen 122, z.B. Rohre, mit der Elektrolyseeinheit 110 verbunden. Durch die eine oder mehreren Fluidleitungen 122 kann ein Fluidstrom b aus dem Behälter 120 zur Elektrolyseeinheit gepumpt wer-

den, z.B. mittels einer Pumpe 124. Die Elektrolyseeinheit 110 ist zudem über eine oder mehrere Fluidleitungen 126, z.B. Rohre, mit dem Behälter 120 verbunden. Durch die eine oder mehreren Fluidleitungen 126 kann ein Fluidstrom c aus der Elektrolyseeinheit 110, dort der Sauerstoffseite 114, zum Behälter 120 gepumpt werden; hierfür ist ebenfalls die Pumpe 124 ausreichend.

[0028] Außerdem weist die Elektrolyseanlage 100 einen weiteren Gas-Abscheider 130, hier einen Wasserstoff-Abscheider bzw. Wasserstoff-Wasser-Abscheider auf.

[0029] Wenngleich hier nur eine Elektrolyseeinheit 110 gezeigt ist, so können auch mehrere davon vorgesehen sein, z.B. je nach Größe und Leistung der Elektrolyseanlage 100. Mehrere Elektrolyseeinheiten können dann z.B. trotzdem an einen gemeinsamen Behälter zur Gas- bzw. Sauerstoff-Abscheidung und/oder einen gemeinsamen Wasserstoff-Abscheider angeschlossen sein.

[0030] Bei einem Betrieb der Elektrolyseanlage 100 wird nun der Fluidstrom b, der Wasser aufweist, vom Behälter 120 zur Elektrolyseeinheit 110 gepumpt. Dort wird das Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff umgesetzt. Hierzu wird eine elektrische Spannung an die Elektrolyseeinheit 110 angelegt, der Wasserstoff diffundiert durch die PEM 112 auf die Wasserstoffseite 116 und kann von dort, ggf. noch mit Wasserdampf vermischt, als Strom e dem Wasserstoff-Abscheider 130 zugeführt werden. Dort kann der Wasserstoff abgeschieden werden und als Strom f z.B. für eine weitere Verwendung abgeführt oder gespeichert werden.

[0031] Der Sauerstoff verbleibt zusammen mit dem Wasser auf der Sauerstoffseite 114 und wird, wie erwähnt, als Fluidstrom c zum Behälter 120 gepumpt. Insgesamt wird also ein Fluidstrom zwischen dem Behälter 120 und der Elektrolyseeinheit 110 umgewälzt. Dabei weist der Fluidstrom bzw. Teil-Fluidstrom c mehr Sauerstoff auf als der Fluidstrom bzw. Teil-Fluidstrom b, da im Fluidstrom c der in der Elektrolyseeinheit 110 erzeugte Sauerstoff umfasst ist. Im Fluidstrom b hingegen wurde Sauerstoff zumindest im Behälter 120 schon abgeschieden.

[0032] Wie erwähnt, wird im Behälter 120 Sauerstoff vom Wasser abgetrennt; der hierbei abgetrennte bzw. abgeschiedene Sauerstoff kann als Strom d z.B. für eine weitere Verwendung abgeführt oder gespeichert werden.

[0033] Da in der Elektrolyseeinheit 110 Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff umgesetzt wird und der Sauerstoff und der Wasserstoff abgeführt werden, wird die Menge an Wasser geringer und kann daher - um einen kontinuierlichen Betrieb aufrechtzuerhalten - als Strom a von extern neues Wasser (sog. Make-Up-Wasser) zugeführt werden.

[0034] Dieses Wasser a kann zuvor z.B. noch aufbereitet werden, was für die vorliegende Erfindung jedoch nicht weiter relevant ist. Ebenso kann ggf. im Wasserstoff-Abscheider 130 abgeschiedenes Wasser wieder in den Behälter 120, ggf. ebenfalls nach vorheriger Aufbe-

reitung, geführt werden.

[0035] Weiterhin weist die Elektrolyseanlage 100 beispielhaft einen Axialzyklon 140, auf, der hier nur schematisch angedeutet ist. Der Axialzyklon 140 ist in der Fluidleitung 126 und damit in Strömungsrichtung zwischen der Elektrolyseeinheit 110 und dem Behälter 120 angeordnet. Denkbar ist an sich, einen Axialzyklon - alternativ oder zusätzlich - auch in Strömungsrichtung zwischen dem Behälter 120 und Elektrolyseeinheit 110 anzuordnen, wie beispielhaft mit 140' gezeigt.

[0036] Wie erwähnt, dient der Axialzyklon hier zum Abtrennen, in dem Fluidstrom, von Sauerstoff von dem Wasser. Abgetrennter Sauerstoff kann als Strom g z.B. für eine weitere Verwendung abgeführt und ggf. gespeichert werden. Auch kann der Strom g mit dem Strom d vereinigt, oder dem Abscheider 120 zugeführt werden.

[0037] In Figur 2 ist schematisch der Axialzyklon 140 aus Figur 1 detaillierter dargestellt. Der Axialzyklon 140 ist in der Fluidleitung 126 angeordnet und weist ein Leitelement umfassend einen Grundkörper 142 und Leitschaufeln 144, die an dem Grundkörper 144 angeordnet oder ausgebildet sind.

[0038] Der Fluidstrom c, umfassend Wasser h und Sauerstoff i, trifft hier von rechts kommend auf den Axialzyklon 140 bzw. dessen Leitelement. Vor dem Axialzyklon 140 ist der Sauerstoff i, hier als dicke Punkte dargestellt, mit dem Wasser h, hier als feine bzw. kleine Punkte dargestellt, vermischt. Aufgrund der Strömungsgeschwindigkeit des Fluidstroms c wird in dem Fluidstrom durch den Axialzyklon 140 ein Drall erzeugt, der dazu führt, dass sich das Wasser h als schwere Phase am Rand der Fluidleitung 126 sammelt, der Sauerstoff i als leichte Phase hingegen in der Mitte bzw. im Zentrum der Strömung. Dies ist links vom Axialzyklon 140 durch immer näher zusammenrückende dicke Punkte angedeutet, die schließlich mittig nur noch als dicker Strich gezeigt sind - dort befindet sich dann nur noch Sauerstoff.

[0039] Weiterhin ist in der Fluidleitung 126 eine Leitung 150 eingebracht, die eine Öffnung aufweist, die in der Mitte der Fluidleitung 126 liegt und einen geeigneten Abstand zum Axialzyklon 140 hat. Die Leitung 150 ist dann z.B. nach außen geführt, z.B. durch eine Wandung bzw. in der Fluidleitung 126 hindurch (hier ist z.B. eine geeignete Abdichtung vorzunehmen). Dadurch, dass sich der Sauerstoff in der Mitte der Fluidleitung 126 sammelt, gelangt dieser aufgrund der Strömungsgeschwindigkeit durch die Öffnung die Leitung 150 und kann, ggf. über ein Ventil 152, als Strom g abgeführt werden, wie schon erwähnt.

[0040] Stromabwärts weist der Fluidstrom c dann weniger Sauerstoff auf als vorher. Beispielhaft ist hier kein Sauerstoff in gasförmigem Zustand mehr im Wasser gezeigt. Auf diese Weise umfasst der Fluidstrom c, wenn er dann den Behälter 120 erreicht, deutlich weniger Sauerstoff als ohne die Verwendung des Axialzyklons.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Elektrolyseanlage (100), in der ein flüssiges Medium in einer Elektrolyseeinheit (110) in zumindest ein gasförmiges Produkt umgesetzt wird,

wobei zwischen einem als Gas-Abscheider verwendeten Behälter (120) und der Elektrolyseeinheit (110) ein Fluidstrom (b, c) umgewälzt wird, der flüssiges Medium und zumindest zeitweise Gas aufweist,

wobei der Fluidstrom (b, c) durch wenigstens einen Axialzyklon (140), geführt wird, um in dem Fluidstrom Gas von dem flüssigen Medium abzutrennen, wobei das abgetrennte Gas (g) aus dem Fluidstrom (b, c) abgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Fluidstrom (c), in Strömungsrichtung, zwischen der Elektrolyseeinheit (110) und dem Behälter (120) durch einen Axialzyklon (140) geführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei in dem Fluidstrom weiterhin mittels Ultraschall Gas von dem flüssigen Medium abgetrennt wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei in der Elektrolyseeinheit (110) Wasser als flüssiges Medium in Wasserstoff und Sauerstoff als gasförmige Produkte umgesetzt wird, und wobei der Fluidstrom (b, c) Wasser und zumindest zeitweise Sauerstoff als Gas aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Elektrolyseeinheit (110) eine Protonen-Austausch-Membran aufweist, an der das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff umgesetzt wird.

6. Elektrolyseanlage (100) mit einer Elektrolyseeinheit (110), in der ein flüssiges Medium in zumindest ein gasförmiges Produkt umsetzbar ist, mit einem als Gas-Abscheider zu verwendenden Behälter (120), und mit mehreren Fluidleitungen (122, 126), über die der Behälter (120) und die Elektrolyseeinheit (110) verbunden sind,

wobei die Elektrolyseanlage (100) eingerichtet ist, zwischen dem Behälter (120) und der Elektrolyseeinheit (110) einen Fluidstrom (b, c) durch die mehreren Fluidleitungen (122, 126) umzuwälzen, wobei der Fluidstrom (b, c) flüssiges Medium und zumindest zeitweise Gas aufweist, wobei die Elektrolyseanlage (100) wenigstens einen Axialzyklon (140) zum Abtrennen von Gas von dem flüssigen Medium in dem Fluidstrom aufweist, wobei der wenigstens einen Axialzyklon (140) in zumindest einer der mehreren Flu-

idleitungen (122, 126) angeordnet ist, und
wobei die Elektrolyseanlage (100) eingerichtet
ist, das mittels des wenigstens einen Axialzy-
klons (140) abgetrennte Gas (g) aus dem Flu-
idstrom (b, c) abzuführen

5

7. Elektrolyseanlage (100) nach Anspruch 6, wobei ein Axialzyklon (140) in einer in Strömungsrichtung zwischen der Elektrolyseeinheit (110) und dem Behälter (120) angeordneten Fluidleitung (126) angeordnet ist. 10
8. Elektrolyseanlage (100) nach Anspruch 6 oder 7, die weiterhin dazu eingerichtet ist, in dem Fluidstrom mittels Ultraschall Gas von dem flüssigen Medium abzutrennen. 15
9. Elektrolyseanlage (100) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, die zur Wasserelektrolyse eingerichtet ist, wobei in der Elektrolyseeinheit (110) Wasser als flüssiges Medium in Wasserstoff und Sauerstoff als gasförmige Produkte umsetzbar ist, und wobei der Fluidstrom (b, c) Wasser und zumindest zeitweise Sauerstoff als Gas aufweist. 20
25
10. Elektrolyseanlage (100) nach Anspruch 9, wobei die Elektrolyseeinheit (110) eine Protonen-Austausch-Membran aufweist, an der das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff umsetzbar ist. 30
11. Verwendung eines Axialzyklons (140) in einer Elektrolyseanlage (100), insbesondere nach einem der Ansprüche 6 bis 10, zum Abtrennen von Gas (g) von einem flüssigen Medium in einem Fluidstrom (c) in der Elektrolyseanlage (100). 35
12. Verfahren zum Herstellen eines Axialzyklons (140) zur Verwendung in einer Elektrolyseanlage (100), insbesondere nach einem der Ansprüche 6 bis 10, wobei zumindest ein Leitelement (142, 144) des Axialzyklons (140) mittels additiver Fertigung hergestellt wird. 40
45
50
55

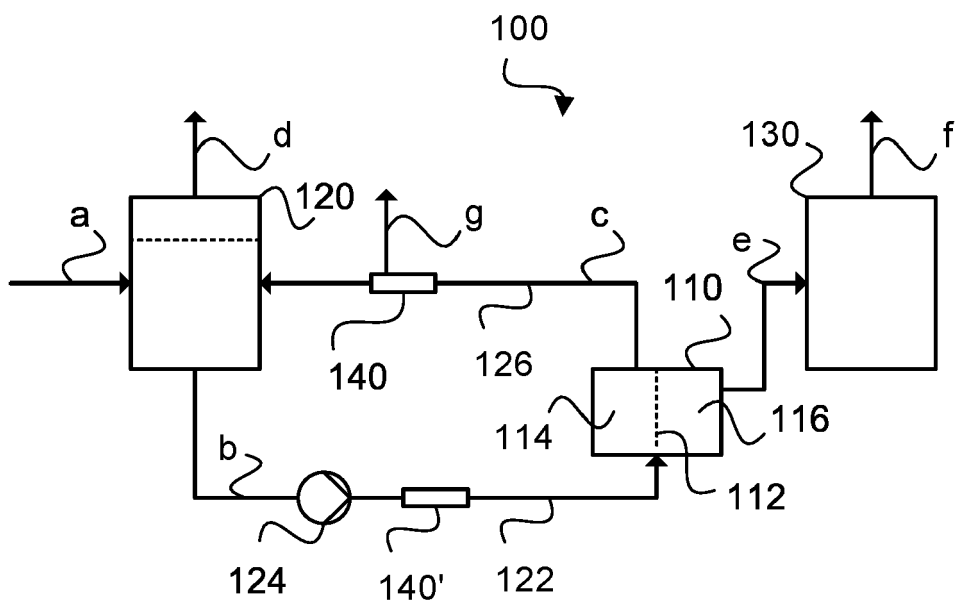


Fig. 1

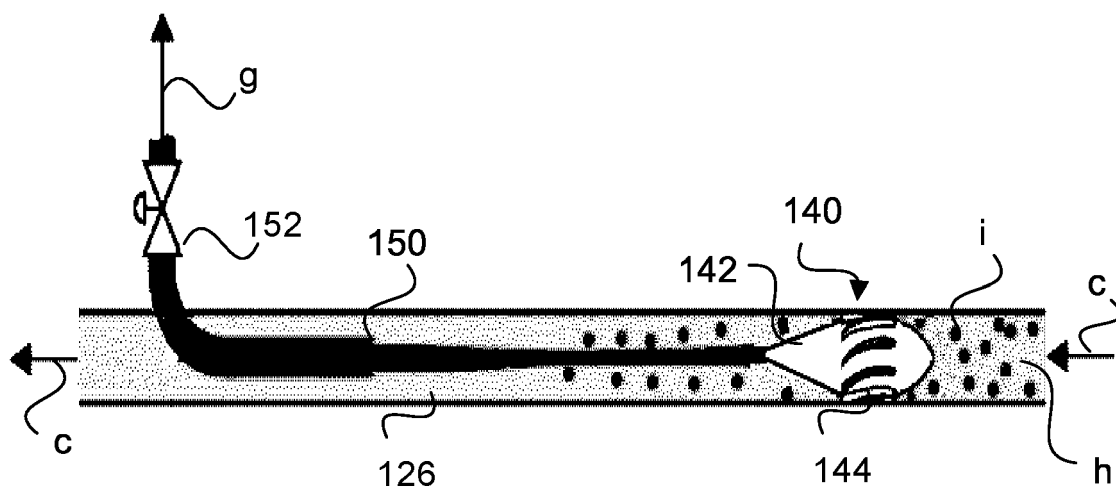


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 02 0442

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)
A	US 2005/172589 A1 (GAMMELSAETER RUNE [NO]) 11. August 2005 (2005-08-11) * das ganze Dokument *	1-11	INV. C25B1/04 C25B9/19 C25B15/08 C25B9/13
A	JP 2018 017407 A (EBARA REFRIGERATION EQUIPMENT & SYSTEMS CO LTD) 1. Februar 2018 (2018-02-01) * das ganze Dokument *	1-11	
A	US 2014/116255 A1 (PÉREZ GUERRA LUIS DANIEL [VE] ET AL) 1. Mai 2014 (2014-05-01) * das ganze Dokument *	1-11	
X	US 6 383 361 B1 (MOULTHROP JR LAWRENCE C [US] ET AL) 7. Mai 2002 (2002-05-07) * das ganze Dokument *	1, 2, 4-7, 9-11	
Y		3, 8	
X	CN 113 278 991 A (UNIV EAST CHINA SCIENCE & TECH) 20. August 2021 (2021-08-20) * das ganze Dokument *	1, 2, 4-7, 9-11	
Y		3, 8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
X	WO 2015/133647 A1 (KURITA WATER IND LTD [JP]; UCHIDA MINORU [JP] ET AL.) 11. September 2015 (2015-09-11) * das ganze Dokument *	1, 2, 4-7, 9-11	C25B
Y	EP 3 960 903 A1 (COVESTRO DEUTSCHLAND AG [DE]) 2. März 2022 (2022-03-02) * das ganze Dokument *	3, 8	
A		1, 2, 4-7, 9, 10	
Y	WO 2021/048461 A1 (LAPPEENRANNAN LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT [FI]) 18. März 2021 (2021-03-18) * das ganze Dokument *	3, 8	
A		1, 2, 4-7, 9, 10	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 3. Juli 2023	Prüfer Juhart, Matjaz
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 : nichtschriftliche 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)



Nummer der Anmeldung

EP 22 02 0442

5

GEBÜHRENPFLICHTIGE PATENTANSPRÜCHE

Die vorliegende europäische Patentanmeldung enthielt bei ihrer Einreichung Patentansprüche, für die eine Zahlung fällig war.

10

- ☐ Nur ein Teil der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für jene Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war, sowie für die Patentansprüche, für die Anspruchsgebühren entrichtet wurden, nämlich Patentansprüche:

15

- ☐ Keine der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war.

20

MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

25

Siehe Ergänzungsblatt B

30

- ☐ Alle weiteren Recherchegebühren wurden innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.

35

- ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Recherchenabteilung nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.

- ☐ Nur ein Teil der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf Erfindungen beziehen, für die Recherchegebühren entrichtet worden sind, nämlich Patentansprüche:

40

- ☒ Keine der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen, nämlich Patentansprüche:

1-11

50

- ☐ Der vorliegende ergänzende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen (Regel 164 (1) EPÜ).

55



**MANGELNDE EINHEITLICHKEIT
DER ERFINDUNG
ERGÄNZUNGSBLATT B**

Nummer der Anmeldung

EP 22 02 0442

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

1. Ansprüche: 1-11

**Gas/Elektrolyte Separation im Elektrolyseverfahren und
entsprechende Anlage.**

2. Anspruch: 12

Verfahren zur Herstellung eines Axialzyklons

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

EP 22 02 0442

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.

03-07-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005172589 A1	11-08-2005	AT 484338 T	15-10-2010
		AU 2003234364 A1	22-12-2003
		BR 0311859 A	15-03-2005
		CA 2488131 A1	18-12-2003
		CN 1658974 A	24-08-2005
		DK 1531942 T3	31-01-2011
		EA 200401560 A1	30-06-2005
		EP 1531942 A1	25-05-2005
		ES 2354265 T3	11-03-2011
		MX PA04012096 A	17-06-2005
		NO 316778 B1	03-05-2004
		PT 1531942 E	19-01-2011
		US 2005172589 A1	11-08-2005
		WO 03103843 A1	18-12-2003
JP 2018017407 A	01-02-2018	CN 107655242 A	02-02-2018
		CN 207019351 U	16-02-2018
		JP 6670196 B2	18-03-2020
		JP 2018017407 A	01-02-2018
US 2014116255 A1	01-05-2014	BR 102013027788 A2	30-06-2015
		RU 2013148376 A	10-05-2015
		US 2014116255 A1	01-05-2014
US 6383361 B1	07-05-2002	AU 4311199 A	20-12-1999
		EP 1112229 A1	04-07-2001
		JP 2002516755 A	11-06-2002
		US 6383361 B1	07-05-2002
		WO 9962828 A1	09-12-1999
CN 113278991 A	20-08-2021	KEINE	
WO 2015133647 A1	11-09-2015	JP 5831720 B2	09-12-2015
		JP 2015167921 A	28-09-2015
		TW 201538800 A	16-10-2015
		WO 2015133647 A1	11-09-2015
EP 3960903 A1	02-03-2022	CN 115968415 A	14-04-2023
		EP 3960903 A1	02-03-2022
		EP 4200464 A1	28-06-2023
		WO 2022043290 A1	03-03-2022
WO 2021048461 A1	18-03-2021	EP 4028355 A1	20-07-2022
		FI 20195758 A1	26-02-2021
		US 2022325425 A1	13-10-2022
		WO 2021048461 A1	18-03-2021

EPO FORM P0461

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

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.****EP 22 02 0442**

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

03-07-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	-----			
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **BESSARABOV et al.** PEM electrolysis for Hydrogen production. CRC Press **[0006]**