

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 51163/2016  
(22) Anmeldetag: 20.12.2016  
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2018

(51) Int. Cl.: **B01D 47/06** (2006.01)  
**B01D 53/44** (2006.01)  
**C25B 1/02** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
US 5009869 A  
WO 8103034 A1  
WO 9934895 A1  
US 4643886 A  
DE 4426901 A1  
JP 2008279364 A

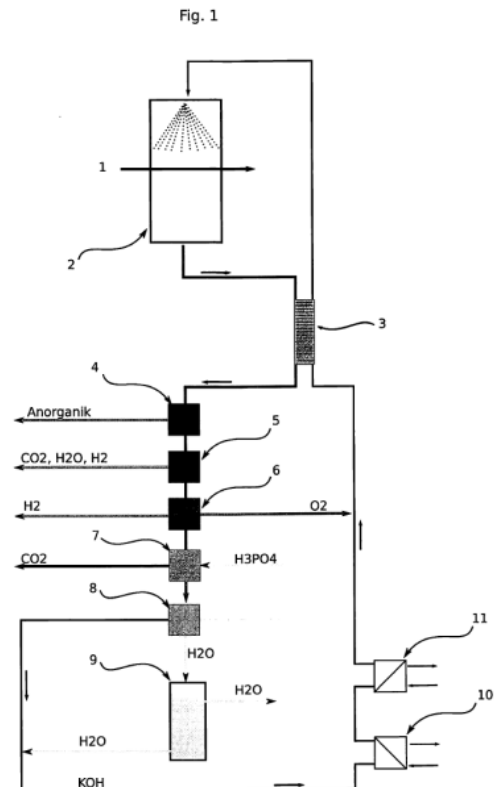
(73) Patentinhaber:  
pro aqua Diamantelektroden Produktion GmbH  
& Co KG  
8712 Niklasdorf (AT)

(74) Vertreter:  
Redl Gerda Dr.  
1220 Wien (AT)

### (54) Verfahren zur Durchführung von Gaswäsche mittels einer Elektrolytlösung

(57) Verfahren zur Durchführung von Gaswäsche mittels einer Elektrolytlösung als Waschflüssigkeit, welche in zumindest einem Gaswäscher (2) mit einem zu reinigenden Gas (1) in Kontakt gebracht und nach der Gaswäsche aus dem Gaswäscher (2) abgeleitet wird, wobei die beladene Elektrolytlösung gemäß folgender nacheinander ablaufender Regenerationsschritte kontinuierlich regeneriert wird:

- Hydrolysieren der beladenen Elektrolytlösung,
- Elektrochemisches Konvertieren der Elektrolytlösung in einer Konvertierungsvorrichtung (5), sodass im Zuge der Gaswäsche von der Elektrolytlösung aufgenommene organische Verbindungen zumindest unter der Bildung von Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und Wasserstoff abgebaut und die entstehenden Gase abgeleitet werden,
- Rückgewinnung einer regenerierten Elektrolytlösung in einer Vorrichtung (8) zur Deionisation- und Desorption von Ionen, wobei die zugeführte Elektrolytlösung durch eine Zelle mit mehreren Paaren von mit einer Gleichspannungs- oder Gleichstromquelle verbundenen dreidimensionalen Elektroden geleitet wird, wobei an den als Kathoden dienenden Elektroden die Kationen der Elektrolytlösung adsorbiert werden, wobei durch Umpolung der mit Kationen beladenen dreidimensionalen Elektroden mit je einer Hilfelektrode die Kationen nachfolgend aus der bzw. den Elektrode(n) desorbiert sowie mit Hydroxid-Ionen zur regenerierten Elektrolytlösung umgesetzt werden,
- Rückführung der regenerierten Elektrolytlösung zum Gaswäscher (2).



## Beschreibung

### VERFAHREN ZUR DURCHFÜHRUNG VON GASWÄSCHE MITTELS EINER ELEKTROLYTLÖSUNG

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung von Gaswäsche mittels einer Elektrolytlösung als Waschflüssigkeit.

**[0002]** Es ist bekannt und üblich, Gaswäscher zur Reinigung von Gasen bzw. Gasgemischen, insbesondere zur Reinigung von Abgasen, einzusetzen. In Gaswäschern wird das Gas bzw. Gasgemisch mit einer Elektrolytlösung in Kontakt gebracht, um derart feste, flüssige oder gasförmige Bestandteile des Gases bzw. Gasgemisches in die Waschflüssigkeit aufzunehmen. Beispielsweise werden mittels Gaswäscher in Rauch suspendierte Feststoffpartikel oder in Gasen suspendierte Flüssigkeitspartikel voneinander getrennt. Bekannt ist beispielsweise auch der Einsatz von Gaswäschern zur Absorption von im Rauchgas enthaltenen Schwefeldioxid.

**[0003]** Aus der US 5 009 869 A ist ein Verfahren zur Reinigung von Luft bekannt, bei welchem die Luft in einem Gaswäscher mit einer Waschflüssigkeit in Kontakt gebracht wird. Anschließend wird die mit Schadstoffen beladene Waschflüssigkeit in einer elektrochemischen Zelle regeneriert, wobei der Abbau der Schadstoffe über Redoxreaktionen erfolgt, an welchen Metalionen beteiligt sind.

**[0004]** Aus der EP 240 723 0 A1 ist ein Verfahren zur Sorptionstrocknung bekannt. Das zu trocknende Gut wird einer Wärmebehandlung durch Wärmeleitung oder/und durch einen gasförmigen Wärmeträger oder/und durch Wärmestrahlung unterzogen. Die mit Wasserdampf gesättigte Luft wird über ein Sorptionsmittel aus einer wässrigen Alkalisalzlösung, welche eine Kaliumhydroxidlösung und/oder Kaliumcarbonatlösung ist, geleitet. Durch Versprühen oder Vernebeln wird die Grenzfläche zwischen dem Wasserdampf und der Alkalisalzlösung flächenmäßig groß gehalten. Das Verfahren wird zur Trocknung und/oder zur Stofftrennung verwendet. Dabei wird die wasserdampfdrucksenkende Wirkung einer Kaliumsalzlösung sowie die selektive Chemiesorption zum gekoppelten Stoff- und Energietransport genutzt.

**[0005]** Die WO 81/03034 A1 offenbart ein Verfahren zur Behandlung übelriechender Luft mit Natriumhypochlorit, welches in einer elektrochemischen Zelle aus Kochsalzlösung erzeugt wird. Aus der WO 99/34895 A1 ist es bekannt, aus einem wässrigen Gemisch mit oxidierbaren Schwefelverunreinigungen mittels eines elektrochemischen Verfahrens Hydroxidlösung und Sulfat zu erzeugen. Die US 4 643 886 A offenbart ein Verfahren, bei welchem in einer elektrochemischen Zelle mit einer alkalischen Waschlösung aus einem Gasstrom Schwefelwasserstoff entfernt wird. Ferner ist aus der DE 44 26 901 A1 ein Verfahren zur Reinigung von zur Gaswäsche eingesetzten Aminwaschlagen bekannt, bei welchem die bei der Regeneration der Amine verbleibenden anionischen Verbindungen an einer Anode mit hoher Sauerstoffüberspannung oxidiert werden. Die JP 2008 279 364 A offenbart ein Verfahren zur Gaswäsche von Abgas mit anschließender elektrochemischer Regeneration der Waschflüssigkeit.

**[0006]** Bisher ist es nicht gelungen, die nach dem Waschvorgang mit Verunreinigungen, Schadstoffen und dergleichen beladene Elektrolytlösung in geeigneter Weise für einen erneuten Waschvorgang im Gaswäscher zurückzugewinnen. Die Chemikalien beinhaltenden Elektrolytlösungen müssen daher nach dem Waschvorgang sachgerecht und damit meistens aufwändig entsorgt werden.

**[0007]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, bei einem Verfahren der eingangs genannten Art eine kontinuierliche Regenerierung der Elektrolytlösung zu ermöglichen, sodass die regenerierte Elektrolytlösung zur Gaswäsche verwendet werden kann.

**[0008]** Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die beladene Elektrolytlösung gemäß folgender nacheinander ablaufender Regenerationsschritte kontinuierlich regeneriert wird:

**[0009]** a) Hydrolisieren der beladenen Elektrolytlösung,

**[0010]** b) Elektrochemisches Konvertieren der Elektrolytlösung in einer Konvertierungsvorrichtung, sodass im Zuge der Gaswäsche von der Elektrolytlösung aufgenommene organische Verbindungen zumindest unter der Bildung von Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und Wasserstoff abgebaut und die entstehenden Gase abgeleitet werden,

**[0011]** c) Rückgewinnung einer regenerierten Elektrolytlösung in einer Vorrichtung zur Deionisation- und Desorption von Ionen, wobei die zugeführte Elektrolytlösung durch eine Zelle mit mehreren Paaren von mit einer Gleichspannungs- oder Gleichstromquelle verbundenen dreidimensionalen Elektroden geleitet wird, wobei an den als Kathoden dienenden Elektroden die Kationen der Elektrolytlösung adsorbiert werden, wobei durch Umpolung der mit Kationen beladenen dreidimensionalen Elektroden mit je einer Hilfselektrode die Kationen nachfolgend aus den Elektroden desorbiert sowie mit Hydroxid-Ionen zur regenerierten Elektrolytlösung umgesetzt werden,

**[0012]** d) Rückführung der regenerierten Elektrolytlösung zum Gaswäscher.

**[0013]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist vorteilhafter Weise sowohl für wässrige basische Elektrolytlösungen als auch für wässrige saure Elektrolytlösungen bestens geeignet und zielt dabei insbesondere auf die Entfernung von organischen Verunreinigen sowie auf die Entfernung von Kohlenstoffdioxid aus Gasen bzw. Gasgemischen ab. Durch die spezielle und kontinuierlich ablaufende Regeneration der Elektrolytlösung ist der Verbrauch von Chemikalien besonders gering. Abfallstoffe fallen nahezu kaum an. Insbesondere ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren, ein Gewinnen von Wertstoffen aus der Elektrolytlösung im Zuge der Regeneration, insbesondere aus den im Zuge der Gaswäsche aus den Gasen entfernten organischen Verunreinigungen.

**[0014]** Um das Wachstum von Keimen gering zu halten, ist es von Vorteil, wenn die zur Gaswäsche verwendete Elektrolytlösung eine basische Elektrolytlösung ist, welche vorzugsweise einen pH-Wert von mindestens 12,0, vorzugsweise von  $\geq 13$ , aufweist. Der hohe pH-Wert verhindert ferner, dass von der Elektrolytlösung aufgenommenes Kohlenstoffdioxid mit der Elektrolytlösung zu einem in dieser schlecht löslichem Hydrogencarbonat reagiert, welches in der Elektrolytlösung ausfallen und die Regeneration stören könnte.

**[0015]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante ist die zur Gaswäsche verwendete Elektrolytlösung eine Kaliumcarbonatlösung oder eine Kaliumhydroxidlösung. Diese weisen vorteilhafterweise ein besonders großes Adsorptionsvermögen für Kohlenstoffdioxid auf, sodass Kohlenstoffdioxid im Zuge der Gaswäsche besonders effektiv aus dem zu reinigenden Gas entfernt wird. Insbesondere enthält die zur Gaswäsche verwendete Elektrolytlösung Kaliumcarbonat und Kaliumhydroxid.

**[0016]** Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante wird die Elektrolytlösung beim Einbringen in den Gaswäscher, insbesondere mittels Leitungsisolation- oder Koronaionisation, elektrostatisch aufgeladen und an im Gaswäscher angeordneten Abscheideelektroden abgeschieden sowie anschließend zur nachfolgenden Regeneration abgeleitet. Dadurch wird insbesondere Raumlaut besonders effektiv, insbesondere im Wesentlichen vollständig, von der Elektrolytlösung getrennt. Dies ist vor allem in Kombination mit einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante von Vorteil, gemäß welcher das Gas vor oder nach der Gaswäsche im Gaswäscher UV-Strahlung, insbesondere UV-Strahlung mit einer Wellenlänge  $\leq 200$  nm, bevorzugter Weise einer Wellenlänge von 185 nm, ausgesetzt wird. Durch die hochenergetische UV-Strahlung werden insbesondere in der Elektrolytlösung schlecht adsorbierbare organische Verbindungen durch Photolyse in umweltverträgliche Bestandteile gespalten. Die Abscheidung der Elektrolytlösung an Abscheideelektroden gewährleistet eine optimale sowie störungsfreie Behandlung des Gases, insbesondere von Luft, mit UV-Strahlen. Durch die UV-Bestrahlung werden aus im Gas enthaltenem Wasser und Sauerstoff OH- Radikale, Singulett-Sauerstoff sowie Ozon gebildet, welche mit den Molekülen der in der Raumlaut bzw. der im Gas enthaltenen organischen Verbindungen reagieren und diese vollständig oder partiell oxidieren. Dabei können insbesondere etwaige im Gas noch vorhandene Kohlenwasserstoffe oder andere, nicht in der basischen

Wäsche entfernbare Gase bzw. Dämpfe, welche üblicherweise bei der Gaswäsche nur geringfügig von der Elektrolytlösung sorbierbar sind, zu Wasser und Kohlenstoffdioxid oder zu durch basische Wäsche abscheidbare Verbindungen abgebaut werden. Diese können derart durch eine zweite basische Wäsche aus dem Gas besonders effektiv entfernt werden.

**[0017]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante wird das Gas, insbesondere Raumlufte, während der Gaswäsche mittels der Elektrolytlösung gekühlt oder erwärmt. Dabei ist es von Vorteil, wenn die regenerierte Elektrolytlösung vor der Gaswäsche über Heiz/Kühlvorrichtungen und/oder über zumindest einen Wärmetauscher gekühlt bzw. erwärmt wird. Vorzugsweise wird die regenerierte Elektrolytlösung vor der Gaswäsche über eine Peltier-Element-Kaskade, mittels einer Kältemaschine oder mittels adiabater Abkühlung, insbesondere durch Verdunstung von Wasser der Elektrolytlösung, gekühlt. Zum Erwärmen wird die Elektrolytlösung vorzugsweise durch Verbrennen von Heizöl oder Erdgas oder mittels einer Wärmepumpe, eines Wärmespeichers, Photovoltaik oder Peltier-Elementen erwärmt. Es kann daher je nach Bedarf der regenerierten Elektrolytlösung aus einer externen Quelle Wärme zugeführt oder aus der regenerierten Elektrolytlösung Wärme über einen Wärmetauscher abgeführt werden.

**[0018]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante wird die Feuchtigkeit des zu reinigenden Gases, vor allem wenn dieses Raumlufte ist, durch Ändern der Ionenkonzentration der Elektrolytlösung eingestellt. Während der Gaswäsche stellt sich zwischen der in den Gaswäscher eingesprühten Elektrolytlösung und der in den Gaswäscher eingeleiteten Raumlufte ein gewisses Gleichgewicht ein, da sich Flüssigkeiten, hier die Elektrolytlösung, in Abhängigkeit von der Ionenkonzentration, immer in einem Gleichgewicht mit der Feuchtigkeit (Gasfeuchte) der Raumlufte befinden. Dieses Gleichgewicht führt dazu, dass sich in der Elektrolytlösung eine definierte Ionenkonzentration und in der Raumlufte eine definierte Luftfeuchtigkeit einstellt. Je höher die Ionenkonzentration der eingesprühten Elektrolytlösung ist, umso geringer ist die Feuchtigkeit der gereinigten aus dem Gaswäscher austretenden Luft. Je geringer die Ionenkonzentration der eingesprühten Elektrolytlösung ist, umso höher ist die Feuchtigkeit der gereinigten aus dem Gaswäscher austretenden Luft. Die Einstellung der Ionenkonzentration erfolgt nach der Regeneration der Elektrolytlösung.

**[0019]** Damit sich sämtliche von der Elektrolytlösung bei der Gaswäsche aufgenommene Verunreinigungen vollständig in der Elektrolytlösung lösen, ist es von Vorteil, wenn die Elektrolytlösung zum Hydrolysieren gemäß Regenerationsschritt a) erwärmt wird. Dadurch ist gewährleistet, dass sämtliche von Verunreinigungen stammende organische Verbindungen der nachfolgenden Aufbereitung gemäß den Regenerationsschritten b) und c) zugänglich werden.

**[0020]** Um etwaige Beeinflussungen durch Feststoffpartikeln im Rahmen der Regenerationsschritte b) und c) zu verhindern, ist gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante vorgesehen, dass aus der Elektrolytlösung nach dem Hydrolysieren gemäß Regenerationsschritt a) mittels einer mechanischen Trenneinrichtung in der Elektrolytlösung nicht gelöste anorganische Stoffe, welche von der Elektrolytlösung bei der Gaswäsche aufgenommen wurden, abgeschieden werden.

**[0021]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante wird die Elektrolytlösung beim elektrochemischen Konvertieren gemäß Regenerationsschritt b) insbesondere in zumindest einer einkammrigen als Durchflusszelle konzipierten Elektrolysezelle, welche ein Elektrodenpaket aus zumindest zwei an eine Spannungsquelle angeschlossenen Kontaktelektroden aufweist, kontinuierlich ein- und ausgeleitet, wobei sie das Elektrodenpaket durchströmt.

**[0022]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante werden beim elektrochemischen Konvertieren gemäß Regenerationsschritt b) die Verweilzeit der Elektrolytlösung in der Elektrolysezelle, die Temperatur der Elektrolytlösung, der pH-Wert der Elektrolytlösung, die Ionenkonzentration der Elektrolytlösung sowie die Stromstärke und die Spannung der Spannungsquelle als Prozessparameter eingestellt. Die elektrochemische Konvertierung kann daher durch einfaches Anpassen der genannten Prozessparameter gesteuert bzw. wie gewünscht gezielt beeinflusst werden.

**[0023]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante wird die Elektrolytlösung unmittelbar nach dem elektrochemischen Konvertieren gemäß Regenerationsschritt b) in eine elektrochemische Zelle geleitet, in welcher aus der Elektrolytlösung stammendes Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff gespalten wird, wobei der Sauerstoff, je nach Bedarf, der regenerieren Elektrolytlösung oder direkt dem durch die Gaswäsche gereinigten Gas zugeführt wird und wobei der Wasserstoff abgeleitet wird. Derart kann der Sauerstoffgehalt der gereinigten Luft auf einfache Weise eingestellt werden.

**[0024]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante wird die die Elektrolytlösung unmittelbar vor der Rückgewinnung gemäß Regenerationsschritt c) in einen Entgaser geleitet, in welchem der Elektrolytlösung Phosphorsäure zugeführt wird bis der pH-Wert der Elektrolytlösung  $\leq 5$  ist. Dadurch werden die bei der Gaswäsche oder bei elektrochemischen Oxidation gebildeten Carbonate und Hydrogencarbonate in entsprechende Phosphate umgewandelt („Verdrängungsreaktion“), wobei ferner Kohlenstoffdioxid und Wasser entsteht. Die Lage des Gleichgewichtes der einzelnen Spezies der Phosphate ist dabei vom pH-Wert abhängig - gemäß einem dem Fachmann bekannten Haegg-Diagramm. Es wird Phosphorsäure in einer Menge zugegeben, sodass der pH-Wert der Elektrolytlösung auf kleiner gleich 5 gesenkt wird, wobei vorhandene Carbonate und Hydrogencarbonate im Wesentlichen vollständig unter der Bildung von Kohlenstoffdioxid zerfallen. Das Kohlenstoffdioxid wird aus dem Raum in die Umgebung abgeleitet bzw. gemäß einer entsprechend vorgesehenen weiteren Verwertung aufbereitet.

**[0025]** Vorteilhafter Weise wird gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante die Phosphorsäure im Regenerationsschritt c) zurückzugewonnen und in den Entgaser zurückgeführt. Insbesondere werden die Phosphat-Anionen im Regenerationsschritt c) an den als Anoden dienenden dreidimensionalen Elektroden adsorbiert, wobei durch Umpolung der mit Phosphat-Anionen beladenen dreidimensionalen Elektroden mit je einer Hilfselektrode die Phosphat-Anionen nachfolgend aus den Elektroden desorbieren sowie mit Oxoniumionen zu Phosphorsäure umgesetzt werden, welche abgelassen und zum Entgaser rückgeführt wird.

**[0026]** Es ist ferner von Vorteil, wenn im Regenerationsschritt c) nach der kapazitiven Deionisation die deionisierte Lösung abgelassen wird. Dabei ist es bevorzugt, vor der Desorption Waschlösung (Elektrolytlösung) einzufüllen, um den Anreicherungseffekt zu erhöhen. Wasser wird insbesondere dann zugegeben wenn die Löslichkeitsgrenze überschritten wird oder wenn die kapazitiv angereicherten Anionen verworfen werden sollen.

**[0027]** Bevorzugter Weise wird die abgelassene deionisierte Lösung in einem Ausgleichsgefäß gespeichert. Mit dieser kann bei Bedarf die regenerierte Elektrolytlösung verdünnt werden.

**[0028]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante sind im Regenerationsschritt c) die Hilfselektroden dreidimensionale Elektroden und es wird die Desorption der Ionen bei einer Gleichspannung unterhalb der Zersetzungsspannung der in der Zelle befindlichen Lösung durchgeführt.

**[0029]** Ferner ist es von Vorteil, dass im Regenerationsschritt c) die Hydroxidionen während der Desorption der Anionen, insbesondere der Phosphat-Anionen, in den Hilfselektroden angereichert werden.

**[0030]** Zur Reduktion der Ionenkonzentration der regenerierten Elektrolytlösung ist es von Vorteil, wenn der regenerierten Elektrolytlösung vor der Gaswäsche Wasser zugesetzt wird.

**[0031]** Enthält das zu einigende Gas sowohl saure als auch basische Verunreinigungen, wie dies beispielsweise bei Stallluft der Fall ist, ist es zur Reinigung der Luft von Vorteil, wenn diese in einem ersten Gaswäscher mit einer basischen Elektrolytlösung und nachfolgend in einem zweiten Gaswäscher mit einer sauren Elektrolytlösung in Kontakt gebracht wird, wobei die beladenen Elektrolytlösungen jeweils gemäß den nacheinander ablaufenden Regenerationsschritten a) bis c) kontinuierlich regeneriert werden. Enthält das zu reinigende Gas große Mengen organischer Säuren, wie es insbesondere bei Biogas der Fall ist, ist es von Vorteil, wenn Regenerationsschritt b) in zwei Stufen in einer zweigeteilten Konvertierungsvorrichtung durch-

geführt wird. In diesem Zusammenhang ist es ferner von Vorteil, wenn in der zweiten Stufe die Elektrolytlösung in einer Elektrolysezelle, welche Diamantpartikelelektroden enthält, einer Totaloxidation unterzogen wird.

**[0032]** Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Durchführung von Gaswäsche mittels einer Elektrolytlösung als Waschflüssigkeit mit einem Gaswäscher, einer Konvertierungsvorrichtung zum Abbau von von der Elektrolytlösung im Gaswäscher aufgenommenen organischen Verbindungen, wobei die Konvertierungsvorrichtung eine als Durchflusszelle konzipierte Elektrolysezelle aufweist, einer Vorrichtung zur Deionisation- und Desorption zum Bilden einer regenerierten Elektrolytlösung, wobei diese Vorrichtung der Konvertierungsvorrichtung nachgeordnet ist und mehrere Paare von mit einer Gleichspannungs- oder Gleichstromquelle verbundenen dreidimensionalen Elektroden zur Adsorption von Ionen aus der Elektrolytlösung und pro Paar von dreidimensionalen Elektroden je eine Hilfelektrode zum separaten Umpolen mit den dreidimensionalen Elektroden aufweist und einer Rückführung zum Zurückleiten der regenerierten Elektrolytlösung in den Gaswäscher.

**[0033]** Diese Vorrichtung gestattet eine Gaswäsche mit einer kontinuierlichen Regeneration der Waschflüssigkeit (Elektrolytlösung) inklusiver Rückführung der regenerierten Elektrolytlösung. Der Bedarf an Chemikalien ist daher besonders gering. Aus den adsorbierten Stoffen können vorteilhafter Wertstoffe gewonnen werden.

**[0034]** Zur Erwärmung bzw. Kühlung des zu waschenden Gases ist es von Vorteil, wenn die Vorrichtung einen Wärmetauscher aufweist, über welchen die aus dem Gaswäscher abgeleitete Elektrolytlösung im Gegenstrom zur regenerierten Elektrolytlösung führbar ist. Ferner kann die Vorrichtung eine Heiz/Kühlvorrichtung zum Heizen bzw. Kühlen der regenerierten Elektrolytlösung aufweisen.

**[0035]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist als Klimaanlage betreibbar. Im Gegensatz zu herkömmlichen Klimaanlagen mit Wärmetauschern, an deren festen Oberflächen der in der Raumluft enthaltene Wasserdampf auskondensiert, sodass diese Oberflächen ständig feucht gehalten werden, wird beim Kühlen mittels Gaswäscher der aus der Raumluft in der Elektrolytlösung adsorbierte Wasserdampf zügig abtransportiert.

**[0036]** Werden feststoffhaltige Gase gereinigt, ist es von Vorteil, wenn zwischen dem Gaswäscher und der Konvertierungsvorrichtung eine mechanische Trenneinrichtung zum Abtrennen von in der Elektrolytlösung nicht löslichen anorganischen Verunreinigungen vorgesehen ist.

**[0037]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante ist unmittelbar nach der Konvertierungsvorrichtung eine elektrochemische Zelle zur Erzeugung von Sauerstoff und Wasserstoff vorgesehen. Der erzeugte Sauerstoff kann der regenerierten Elektrolytlösung zugeführt werden, um den Sauerstoffgehalt des mit dieser gewaschenen Gases, beispielsweise Raumluft, zu erhöhen.

**[0038]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante ist der Vorrichtung zur Deionisation- und Desorption ein Entgaser vorgeordnet. Mittels diesem kann Kohlenstoffdioxid aus carbonathaltigen Elektrolytlösungen ausgetrieben werden, was für eine einwandfreie Durchführung der Deionisation und der Desorption von Vorteil ist.

**[0039]** Weitere Merkmale, Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden nun anhand von Ausführungsbeispielen der Erfindung sowie anhand der einzigen Figur, Fig.1, welche ein stark vereinfachtes schematisches Fließbild zeigt, näher beschrieben.

#### BEISPIEL 1 - ENTFEUCHTEN, TEMPERIEREN UND REINIGEN VON RAUMLUFT

**[0040]** Raumluft unterliegt fortlaufend einem gewissen Eintrag von Verunreinigungen und/oder Schadstoffen. Zu diesen zählen beispielsweise vom Menschen ausgeatmetes Kohlenstoffdioxid (ca. 800g pro Person und Tag) oder etwaige aus Möbeln oder Fußböden stammende flüchtige organische Verbindungen - sogenannte „VOCs“, (volatile organic compounds) - wie beispielsweise Lösungsmitteldämpfe. Insbesondere das sich in der Raumluft ansammelnde Kohlenstoff-

dioxid beeinträchtigt die Qualität der Raumluft maßgeblich. Steigt die Kohlenstoffdioxidkonzentrationen über einen längeren Zeitraum über 1500 ppm, hat dies die bekannten physiologischen Wirkungen, wie beispielsweise Atemdepression, Kopfschmerzen oder Schwindel. Jeder Mensch verliert pro Tag ca. 1kg Wasser in Form von Schweiß, welcher als „belasteter“ Wasserdampf in die Raumluft eingetragen wird. In der Raumluft sammelt sich ferner Staub, bestehend aus unterschiedlichen Partikeln, beispielsweise Rußpartikeln, Kunststoffteilchen, abgestorbenen Hautschuppen, Bakterien, Schimmelpilzsporen, feine Haare oder Fusseln aus Kleidungsstücken. Insbesondere in industriellen Produktionsgebäuden unterliegt die Raumluft einem besonders hohen Eintrag an derartigen Verunreinigungen, sodass es in solchen Gebäude zweckmäßig ist, die Raumluft fortlaufend zu reinigen.

**[0041]** Fig. 1 zeigt ein schematisches Fließbild einer erfindungsgemäßen Klimaanlage, deren Funktionsweise nachfolgend erläutert wird.

## 1. SCHRITT - GASWÄSCHE

**[0042]** Wie in Fig. 1 angedeutet ist, wird die zu behandelnde Raumluft 1 in einen Gaswäscher 2 eingeleitet, insbesondere von diesem angesaugt. Der Gaswäscher 2 wird kontinuierlich mit einer als Waschflüssigkeit dienenden basischen Elektrolytlösung versorgt, welche, wie ebenfalls in Fig. 1 angedeutet, in den Gaswäscher 2 eingesprüht wird und derart in diesem fein verteilte Tröpfchen bildet. Die Elektrolytlösung ist insbesondere eine Kaliumcarbonat- oder eine Kaliumhydroxidlösung („Kalilauge“) mit einem pH-Wert von mindestens 12, bevorzugter Weise einem pH-Wert  $\geq 13$ . Die Elektrolytlösung kann jedoch auch Kaliumcarbonat ( $K_2CO_3$ ) gemeinsam mit Kaliumhydroxid (KOH) enthalten. Der hohe pH-Wert der Elektrolytlösung ist von Vorteil, da dadurch das Wachstum von Keimen in der Klimaanlage unterdrückt wird.

**[0043]** Während der Gaswäsche werden in der Raumluft 1 vorhandene Verunreinigungen an der Oberfläche der eingesprühten Elektrolytlösung adsorbiert (Chemisorption), sodass die Raumluft 1 gereinigt wird. Beispielsweise werden in der Raumluft 1 enthaltene Staubpartikel, gasförmige organische Verbindungen, insbesondere VOCs oder saure Gase, wie beispielsweise Schwefelwasserstoff, von der Elektrolytlösung adsorbiert. Insbesondere wird in der Raumluft 1 enthaltenes Kohlenstoffdioxid chemisch an Kaliumhydroxid der Elektrolytlösung gebunden. Kohlenstoffdioxid reagiert zunächst zu Kaliumcarbonat (Gleichung I) und dieses dann weiter zu Kaliumhydrogencarbonat (Gleichung II):



**[0044]** Wird bei der Gaswäsche Kaliumhydrogencarbonat gebildet, könnte dieses grundsätzlich beim Überschreiten seiner Sättigungskonzentration unerwünschter Weise ausfallen. Auf Grund des hohen pH-Wertes der Elektrolytlösung liegt das Gleichgewicht der Gleichung II vorteilhafterweise auf der Seite des Kaliumcarbonates. Dieses sowie etwaiges vorhandenes Kaliumhydrogencarbonat, wird, wie noch erläutert wird, zu einem späteren Zeitpunkt aus der Elektrolytlösung entfernt.

**[0045]** Bevorzugter Weise wird die Elektrolytlösung während des Einsprühens elektrostatisch aufgeladen, beispielsweise mittels einer Hochspannungsquelle über eine Leitungsisolation oder mittels Koronaionisation. Die mit Verunreinigungen beladene fein verteilte elektrolysierte Elektrolytlösung wird an im Gaswäscher 2 angeordneten, insbesondere lamellenförmigen Abscheideelektroden (in Fig. 1 nicht dargestellt) abgeschieden und nachfolgend abgeleitet. Der Abstand zwischen den lamellenförmigen Abscheideelektroden liegt im Millimeterbereich und beträgt insbesondere bis zu 10,0 mm. Durch elektrostatisches Aufladen und nachfolgendes Abscheiden der Elektrolytlösung an Abscheideelektroden wird die Elektrolytlösung im Wesentlichen vollständig von der gereinigten Raumluft 1 abgetrennt, was für die nachfolgend optional vorgesehene UV- Bestrahlung der Raumluft 1 von Vorteil ist.

**[0046]** Gemäß dieser optionalen Ausführungsvariante wird aus dem Gaswäscher 2 ausgeleitete Raumluft 1 UV-Stahlen mit einer Wellenlänge  $\leq 200$  nm, insbesondere mit einer Wellenlänge

von etwa 185 nm, ausgesetzt. Durch die hochenergetische UV-Strahlung werden vor allem in der Elektrolytlösung schlecht sorbierbare organische Verbindungen durch Photolyse vollständig oder teilweise oxidiert. In Verbindung mit dem in der Raumluft 1 enthaltenen molekularen Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und Wasserdampf erzeugen UV-Strahlen hochreaktive OH-Radikale sowie Singulett-Sauerstoff und Ozon. Die gebildeten Oxidationsmittel, insbesondere die Radikale, reagieren mit den Molekülen der in der Raumluft 1 enthaltenen organischen Verbindungen (z.B. Methan) und oxidieren diese derart. Methan wird beispielsweise zu Wasser und Kohlenstoffdioxid abgebaut. Etwaige in der Raumluft 1 enthaltenen größeren organischen Moleküle werden partiell oxidiert, wobei insbesondere Carboxyl- oder Hydroxylgruppen in die Moleküle bzw. Molekülfragmente eingebaut werden und derart insbesondere Carbonsäuren, Aldehyde, Ketone sowie Alkohole gebildet werden. Beispielsweise könnte aus Lacken, Kleber oder aus Leim (Holzmöbel) stammender Formaldehyd zur entsprechenden Carbonsäure oxidiert werden. Insbesondere werden durch die partielle Oxidation CH-acide organische Verbindungen gebildet, beispielsweise Carbonsäuren, Aldehyde, Ketone oder Alkohole. Diese sind einer Chemisorption zugänglich, sodass in diesem Fall eine der UV-Oxidation nachgeschaltete basische Gaswäsche besonders vorteilhaft ist. Eine UV-Bestrahlung der Raumluft 1 ist daher eine besonders vorteilhafte Ergänzung zur Gaswäsche. Die UV-Bestrahlung kann zwischen zwei oder mehreren basischen Gaswäschen erfolgen.

**[0047]** Die Raumluft 1 wird während der Gaswäsche gekühlt oder erwärmt. Dazu wird eine entsprechend temperierte Elektrolytlösung in den Gaswäscher 1 eingesprüht, zum Kühlen eine gekühlte Elektrolytlösung, zum Heizen eine erwärmte Elektrolytlösung. Das Wärmen bzw. Kühlen der Elektrolytlösung erfolgt bei deren Rückführung zum Gaswäscher 2 nach der Regeneration vorzugsweise über Heiz/Kühlvorrichtungen 10, 11, insbesondere über zumindest einen Wärmetauscher 3. Kühlen der Elektrolytlösung erfolgt insbesondere über eine Peltier-Element-Kaskade. Alternativ erfolgt die Kühlung der Elektrolytlösung beispielsweise mittels einer Kältemaschine oder einer adiabaten Abkühlung, insbesondere durch eine Verdunstung von Wasser aus der Elektrolytlösung. Die zum Erwärmen der Elektrolytlösung erforderliche Energie wird beispielsweise durch Verbrennung von Heizöl oder Erdgas, mittels einer Wärmepumpe, eines Wärmespeichers, Photovoltaik oder Peltier-Elementen bereitgestellt.

**[0048]** Die Feuchtigkeit der aus dem Gaswäscher 2 austretenden gereinigten Raumluft 1 lässt sich über die Ionenkonzentration der Elektrolytlösung einstellen. Während der Gaswäsche stellt sich zwischen der in den Gaswäscher eingesprühten Elektrolytlösung und der in den Gaswäscher 2 eingeleiteten Raumluft 1 ein gewisses Gleichgewicht ein, da sich Flüssigkeiten, hier die Elektrolytlösung, in Abhängigkeit von der Ionenkonzentration, immer in einem Gleichgewicht mit der Feuchtigkeit (Gasfeuchte) der Raumluft 1 befinden. Dieses Gleichgewicht führt beim konkreten Anwendungsbeispiel dazu, dass sich in der Elektrolytlösung eine definierte Ionenkonzentration und in der Raumluft 1 eine definierte Luftfeuchtigkeit, also ein bestimmter Anteil an Wasserdampf, einstellt. Je höher die Ionenkonzentration der eingesprühten Elektrolytlösung ist, umso geringer ist die Feuchtigkeit der gereinigten aus dem Gaswäscher 2 austretenden Raumluft 1. Je geringer die Ionenkonzentration der eingesprühten Elektrolytlösung ist, umso höher ist die Feuchtigkeit der gereinigten aus dem Gaswäscher 2 austretenden Raumluft 1. Die Einstellung der Ionenkonzentration erfolgt nach der Regeneration der Elektrolytlösung, wie weiter unten noch beschrieben wird.

**[0049]** Im Gegensatz zu herkömmlichen Klimaanlageanlagen mit Wärmetauschern, an deren festen Oberflächen der in der Raumluft enthaltene Wasserdampf auskondensiert, sodass diese Oberflächen ständig feucht gehalten werden, wird beim Entfeuchten mittels Gaswäscher 1 der aus der Raumluft in der Elektrolytlösung adsorbierte Wasserdampf zügig abtransportiert. Wie bereits erwähnt unterdrückt der hohe pH-Wert der Elektrolytlösung vorteilhafter Weise das Wachstum von Keimen, beim erwähnten pH-Wert von mindestens 12 ist die Waschlösung im Wesentlichen steril, sodass die erfindungsgemäße Klimaanlage im Wesentlichen keimfrei gehalten wird.

**[0050]** Die die Verunreinigungen enthaltende und aus dem Gaswäscher 2 abgeleitete Elektrolytlösung wird, wie im Nachfolgenden beschrieben wird, über mehrere Regenerationsschritte regeneriert und anschließend wieder in den Gaswäscher 2 als Waschflüssigkeit aufgegeben.

## 2. SCHRITT - REGENERIERUNG DER BELADENEN ELEKTROLYTLÖSUNG

**[0051]** Die aus dem Gaswäscher 2 abgeleitete Elektrolytlösung wird über den Wärmetauscher 3 geleitet und kühlt bzw. erwärmt, wie oben erwähnt, die bereits regenerierte Waschlösung (Elektrolytlösung) bei deren Rückführung zum Gaswäscher 1. In der abgeleiteten Elektrolytlösung sorbierte organische Verbindungen werden, optional unter Zufuhr von Wärme, vollständig oder im Wesentlichen vollständig in der Elektrolytlösung gelöst. Wurden von der Elektrolytlösung organische Säuren adsorbiert dissoziieren diese, wobei die Säuren bzw. durch die durch Dissoziation der Säuren gebildeten Ionen neutralisiert werden und wasserlösliche Salze entstehen, welche unmittelbar in der Elektrolytlösung gelöst werden.

**[0052]** Zur Regenerierung wird die Elektrolytlösung in einem optionalen ersten Regenerationsschritt in eine mechanische Trenneinrichtung 4 geleitet, in welcher etwaige aus der Raumluft 1 adsorbierte unlösliche anorganische Verunreinigungen, beispielsweise Sand aus der Elektrolytlösung abgetrennt werden. Die mechanische Trennung erfolgt beispielsweise mittels Filtration, Sedimentation, Flotation oder Zentrifugation.

**[0053]** Die aus dem Gaswäscher 2 abgeleitete Elektrolytlösung wird, ggf. nach Durchführung des erwähnten mechanischen Trennverfahrens, in eine Konvertierungsvorrichtung 5 geleitet, in welcher der zweite Regenerationsschritt erfolgt. Die Konvertierungsvorrichtung 5 ist beispielsweise gemäß der noch nicht veröffentlichten österreichischen Patentanmeldung A50387/2016 aufgebaut und arbeitet nach dem dort beschriebenen Verfahren zur elektrochemischen Konvertierung. Im diesem zweiten Regenerationsschritt wird somit die Elektrolytlösung, insbesondere in zumindest einer einkammrigen als Durchflusszelle konzipierten Elektrolysezelle, welche ein Elektrodenpaket aus zumindest zwei an eine Spannungsquelle angeschlossenen Kontaktelektroden aufweist, kontinuierlich ein- und ausgeleitet, wobei sie das Elektrodenpaket durchströmt. Die Prozessparameter (Verweilzeit der Elektrolytlösung in der Elektrolysezelle, die Temperatur der Elektrolytlösung, der pH-Wert der Elektrolytlösung, die Ionenkonzentration der Elektrolytlösung, die Stromstärke und die Spannung der Spannungsquelle) werden derart eingestellt, dass organische Verbindungen in der Elektrolytlösung abgebaut werden, wobei an der Anode Kohlenstoffdioxid und Wasser und an der Kathode Wasserstoff gebildet werden. Diese entstehenden Gase, welche lediglich in geringen Mengen gebildet werden, können bedenkenlos aus dem Gebäude in die Umgebung abgeleitet werden. Ein wesentlicher Teil des gebildeten Kohlenstoffdioxids wird von der Elektrolytlösung sorbiert. In der Elektrolytlösung verbleiben insbesondere Kaliumhydroxid, Kaliumcarbonat sowie Kaliumhydrogencarbonat.

**[0054]** Im Zuge des dritten Regenerationsschrittes, welcher ebenfalls optional ist, wird die derart erhaltene Elektrolytlösung in eine elektrochemische Zelle 6 geleitet, in welcher Wasser gespalten und derart Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) erzeugt wird. Der Wasserstoff wird in die Umgebung (ins Freie) abgeleitet, der Sauerstoff wird, je nach Bedarf, in die bereits regenerierten Waschlösung eingeleitet, um derart im Zuge der Gaswäsche den Sauerstoffgehalt der zu reinigenden Raumluft 1 zu erhöhen. Alternativ kann der Sauerstoff über eine separate Leitung direkt der Raumluft zugeleitet werden. Die aus der elektrochemischen Zelle 6 austretende Elektrolytlösung enthält weiterhin insbesondere Kaliumhydroxid, Kaliumcarbonat sowie Kaliumhydrogencarbonat.

**[0055]** Im Zuge des vierten Regenerationsschrittes wird die Elektrolytlösung in einen Entgaser 7 geleitet, in welchem die Elektrolytlösung mit einer in den Entgaser 7 eingeleiteten Phosphorsäure ( $H_3PO_4$ ) in Kontakt gebracht wird. Dadurch werden die bei der Gaswäsche gebildeten Carbonate und Hydrogencarbonate in entsprechende Phosphate umgewandelt („Verdrängungsreaktion“), wobei ferner Kohlenstoffdioxid und Wasser entsteht. Die Lage des Gleichgewichtes der einzelnen Spezies der Phosphate ist dabei vom pH-Wert abhängig - gemäß einem dem Fachmann bekannten Haegg-Diagramm. Es wird derart viel Phosphorsäure zugegeben, dass der pH-Wert der Elektrolytlösung auf kleiner gleich 5 gesenkt wird, wobei vorhandene Carbonate und Hydrogencarbonate im Wesentlichen vollständig unter der Bildung von Kohlenstoffdioxid zerfallen. Das Kohlenstoffdioxid wird aus dem Raum in die Umgebung abgeleitet bzw. gemäß einer entsprechend vorgesehen weiteren Verwertung aufbereitet.

**[0056]** Phosphorsäure und reine Kaliumhydroxidlösung werden im nächsten Regenerationsschritt (fünfter Regenerationsschritt) aus der derart erhaltenen Elektrolytlösung mittels kapazitiver Deionisation und nachfolgender Desorption in einer Zelle 8 voneinander getrennt zurückgewonnen. Die zuvor beschriebene Umwandlung der Carbonate und Hydrogencarbonate in die entsprechende Phosphate im Zuge des vierten Regenerationsschrittes ist von Vorteil, da sich ansonsten bei der kapazitiven Deionisation große Mengen Kohlenstoffdioxid bilden, welche diese stören würden.

**[0057]** Dieser fünfte Regenerationsschritt erfolgt dabei insbesondere gemäß einem der in der noch nicht veröffentlichten österreichischen Patentanmeldung A51103/2016 beschriebenen Verfahren. Beispielsweise werden nach folgendem, in dieser Patentanmeldung offenbartem Verfahren die reine KOH-Lösung und die Phosphorsäure erzeugt. Die Elektrolytlösung wird in einem geschlossenen Kreislauf durch eine einen Ein- und einen Auslass aufweisende Zelle, welche zumindest ein Paar, insbesondere mehrere Paare, von jeweils mit einer Gleichspannungs- oder Gleichstromquelle verbundenen dreidimensionalen Elektroden enthält, solange geleitet, bis die Lösung kapazitiv deionisiert ist, daher bis die Kalium-Kationen ( $K^+$ -Ionen) an den als Kathoden dienenden Elektroden adsorbiert und Phosphat-Anionen an den als Anoden dienenden Elektroden adsorbiert sind. Die verbleibende wässrige Lösung wird abgelassen und kann ggf. in einem Ausgleichsgefäß 9 gespeichert werden. Die Zelle wird anschließend mit sauberem deionisiertem Wasser gefüllt. Die mit  $K^+$ -Ionen angereicherten dreidimensionalen Elektroden werden von der Spannungsquelle getrennt. Die zweite, mit Phosphat-Anionen angereicherten dreidimensionalen Elektroden werden mit je einer Hilfselektrode umgepolt, wobei sämtliche Hilfselektroden ebenfalls dreidimensionale Elektroden sind. Ein- und Auslass sind geschlossen. Bei einer Gleichspannung unterhalb der Zersetzungsspannung von Wasser desorbieren die Phosphat-Anionen aus den dreidimensionalen Elektroden,  $OH^-$ -Ionen werden an den Hilfselektroden angereichert. In der Lösung gebildete  $H_3O^+$ -Ionen reagieren mit den Phosphatanionen zu Phosphorsäure. Die Phosphorsäure wird abgelassen und zum Entgaser 7 zurückgeleitet.

**[0058]** Die entleerte Zelle wird nun mit sauberem deionisiertem Wasser oder mit „frischer“ Waschlösung (Elektrolytlösung) gefüllt. Die mit den  $K^+$ -Ionen angereicherte dreidimensionale Elektrode werden jeweils an den Pluspol, die mit  $OH^-$ -Ionen angereicherten dreidimensionalen Hilfselektroden an den Minuspol der Gleichspannungsquelle angeschlossen. Bei einer Spannung unterhalb der Zersetzungsspannung desorbieren die  $K^+$ -Ionen daher aus den Elektroden, die  $OH^-$ -Ionen aus den Hilfselektroden. In der Zelle wird Kalilauge (KOH) gebildet. Die Kalilauge wird aus der Zelle abgeleitet. Durch Zuleiten von Wasser aus dem Ausgleichsgefäß 9 kann die Kalilauge bei Bedarf verdünnt werden. Die Kalilauge wird über den zumindest einen Wärmetauscher 3 und gegebenenfalls über Heiz/Kühlvorrichtungen 10, 11 geführt und derart erwärmt oder gekühlt - je nachdem ob die Raumluft 1 gekühlt oder erwärmt werden soll.

## BEISPIEL 2 - REINIGUNG VON STALLLUFT UND KOHLENDIOXIDVERWERTUNG

**[0059]** Stallluft von Geflügelställen ist stark mit Ammoniak, Amine, Kohlenstoffdioxid sowie mit Futter und Federn stammenden organischen Stäuben belastet.

**[0060]** Zur Reinigung der Stallluft wird diese in analoger Weise zum Beispiel 1 in einen Gaswäscher eingeleitet und dort mit einer basischen Elektrolytlösung, insbesondere einer Kaliumhydroxidlösung, „gewaschen“. Die basische Elektrolytlösung nimmt organische Säuren, Thiole, Kohlenstoffdioxid sowie etwaige Keime aus der Stallluft auf. Die Regeneration der basischen Elektrolytlösung erfordert im ersten Regenerationsschritt, der Hydrolyse, die Zufuhr von Wärme, um etwaige in ihr suspendierte Feststoffpartikel, beispielsweise von Futterresten, Federn, Heu usw., aufzuschließen, sodass die in den Feststoffpartikel enthaltenen organischen Verbindungen für eine Aufbereitung zugänglich werden. Die weitere Regeneration erfolgt analog zu Beispiel 1 in Form der dort beschriebenen Regenerationsschritte (Elektrochemische Konvertieren in einer Konvertierungsvorrichtung 5, Einleiten in einen Entgaser 7 und Kontakt und Umwandlung der Carbonate und Hydrogencarbonate in Phosphate, mit Phosphorsäure, kapazitive Deionisation mit nachfolgender Desorption und Rückgewinnung der Waschlösung). Gegeben-

nenfalls können auch die im Beispiel 1 beschriebenen optionalen Regenerationsschritte (Abtrennen anorganischer Bestandteile in einer mechanischen Trennvorrichtung 4, Wasserspaltung in einer elektrochemischen Zelle 6) durchgeführt werden.

**[0061]** Abweichend von Beispiel 1 wird die bereits mit der basischen Elektrolytlösung gewaschene Luft, im Anwendungsbeispiel die Stallluft, zur weiteren Aufbereitung in einen zweiten Gaswäscher eingeleitet, in welchem eine Gaswäsche mit einer sauren Elektrolytlösung, beispielsweise mit Schwefelsäure, durchgeführt wird, wodurch in der Stallluft vorhandene basische Verunreinigungen, beispielsweise Ammoniak und Amine, entfernt werden. Die Regenerierung dieser Elektrolytlösung kann auf analoge Weise wie jene der Elektrolytlösung gemäß Beispiel 1 erfolgen.

**[0062]** Durch die elektrochemische Konvertierung, die kapazitive Deionisation und die Desorption kann im konkreten Beispiel Schwefelsäure zurückgewonnen und Ammoniaklösung gewonnen werden. Ferner wird als Nebenprodukt Kohlendioxid im Entgaser 7 gebildet.

### BEISPIEL 3 - AUFBEREITUNG VON BIOGAS UND KOHLENSTOFFDIOXIDVERWERTUNG

**[0063]** Durch die unmittelbare Vergärung aus Biomasse gebildetes Biogas enthält große Mengen an Kohlenstoffdioxid, insbesondere besteht Biogas aus bis zu zirka 50% Kohlenstoffdioxid. Zum Einspeisen des Biogases in ein Erdgasnetz und der nachfolgenden thermischen Nutzung ist es erforderlich, den Heizwert des Biogases durch Entfernen des Kohlenstoffdioxides zu erhöhen.

**[0064]** Das aufzubereitende Biogas wird in analoger Weise zu Beispiel 1 in einen Gaswäscher eingeleitet und dort mit einer basischen Elektrolytlösung, insbesondere einer Kaliumhydroxidlösung, „gewaschen“. Etwaige im Biogas vorhandene organische Säuren werden von der Elektrolytlösung adsorbiert. Die Regeneration erfolgt analog zu Beispiel 1 in Form der dort beschriebenen Regenerationsschritte (Elektrochemische Konvertieren in einer Konvertierungsvorrichtung 5, Einleiten in einen Entgaser 7 und Kontakt und Umwandlung der Carbonate und Hydrogencarbonate in Phosphate, mit Phosphorsäure, kapazitive Deionisation mit nachfolgender Desorption und Rückgewinnung der Waschlösung). Gegebenenfalls können auch die im Beispiel 1 beschriebenen optionalen Regenerationsschritte (Abtrennen anorganischer Bestandteile in einer mechanischen Trennvorrichtung 4, Wasserspaltung in einer elektrochemischen Zelle 6) durchgeführt werden.

Da Biogas häufig große Mengen organischer Säuren enthält wird die elektrochemische Konvertierung vorzugsweise zweistufig in einer zweigeteilten Konvertierungsvorrichtung durchgeführt. In der ersten Stufe wird eine Kolbe-Elektrolyse durchgeführt, bei welcher Karbonsäuren oder Salze der Karbonsäuren zu Alkanen und Kohlendioxid umgewandelt werden. Insbesondere werden dabei auch Alkene gebildet. Die Kolbe-Elektrolyse erfolgt dabei vorzugsweise an Platin-, Glasgraphit- oder Graphitelektroden. Die nach der Kolbe-Elektrolyse in der Elektrolytlösung verbleibenden organischen Verbindungen werden in einer zweiten Stufe in elektrochemischen Zellen, insbesondere unter Verwendung von Diamantelektroden, elektrolysiert.

## BEZUGSZIFFERNLISTE

- 1.....Raumluft
- 2.....Gaswäscher
- 3.....Wärmetauscher
- 4.....Trenneinrichtung
- 5.....Konvertierungsvorrichtung
- 6.....elektrochemische Zelle
- 7.....Entgaser
- 8.....Zelle
- 9.....Ausgleichsgefäß
- 10, 11 .....Heiz/Kühlvorrichtung

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung von Gaswäsche mittels einer Elektrolytlösung als Waschflüssigkeit, welche in zumindest einem Gaswäscher (2) mit einem zu reinigenden Gas (1) in Kontakt gebracht und nach der Gaswäsche aus dem Gaswäscher (2) abgeleitet wird, wobei die beladene Elektrolytlösung gemäß folgender nacheinander ablaufender Regenerationschritte kontinuierlich regeneriert wird:
  - a) Hydrolysieren der beladenen Elektrolytlösung,
  - b) Elektrochemisches Konvertieren der Elektrolytlösung in einer Konvertierungsvorrichtung (5), sodass im Zuge der Gaswäsche von der Elektrolytlösung aufgenommene organische Verbindungen zumindest unter der Bildung von Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und Wasserstoff abgebaut und die entstehenden Gase abgeleitet werden,
  - c) Rückgewinnung einer regenerierten Elektrolytlösung in einer Vorrichtung (8) zur Deionisation- und Desorption von Ionen, wobei die zugeführte Elektrolytlösung durch eine Zelle mit mehreren Paaren von mit einer Gleichspannungs- oder Gleichstromquelle verbundenen dreidimensionalen Elektroden geleitet wird, wobei an den als Kathoden dienenden Elektroden die Kationen der Elektrolytlösung adsorbiert werden, wobei durch Umpolung der mit Kationen beladenen dreidimensionalen Elektroden mit je einer Hilfselektrode die Kationen nachfolgend aus den Elektroden desorbiert sowie mit Hydroxid-Ionen zur regenerierten Elektrolytlösung umgesetzt werden,
  - d) Rückführung der regenerierten Elektrolytlösung zum Gaswäscher (2).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zur Gaswäsche verwendete Elektrolytlösung eine basische Elektrolytlösung ist, welche vorzugsweise einen pH-Wert von mindestens 12,0, vorzugsweise von  $\geq 13$ , aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zur Gaswäsche verwendete Elektrolytlösung eine Kaliumcarbonatlösung ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zur Gaswäsche verwendete Elektrolytlösung eine Kaliumhydroxidlösung ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zur Gaswäsche verwendete Elektrolytlösung Kaliumcarbonat und Kaliumhydroxid enthält.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrolytlösung beim Einbringen in den Gaswäscher (2), insbesondere mittels Leitungsionisation- oder Koronaionisation, elektrostatisch aufgeladen und an im Gaswäscher (2) angeordneten Abscheideelektroden abgeschieden sowie anschließend zur nachfolgenden Regeneration abgeleitet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gas (1) unmittelbar vor oder unmittelbar nach der Gaswäsche UV-Strahlung, insbesondere UV-Strahlung mit einer Wellenlänge  $\leq 200$  nm, bevorzugter Weise einer Wellenlänge von 185 nm, ausgesetzt wird.
8. Verfahren einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gas (1) während der Gaswäsche mittels der Elektrolytlösung gekühlt oder erwärmt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gas (1), welches, während der Gaswäsche gekühlt oder erwärmt wird, Raumluft ist.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die regenerierte Elektrolytlösung vor der Gaswäsche über Heiz/Kühlvorrichtungen (10, 11) und/oder über zumindest einen Wärmetauscher (3) gekühlt bzw. erwärmt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die regenerierte Elektrolytlösung vor der Gaswäsche über eine Peltier-Element-Kaskade gekühlt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrolytlösung mittels einer Kältemaschine gekühlt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrolytlösung mittels adiabater Abkühlung, insbesondere durch eine Verdunstung von Wasser der Elektrolytlösung, gekühlt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrolytlösung durch Verbrennen von Heizöl oder Erdgas oder mittels einer Wärmepumpe, eines Wärmespeichers, Photovoltaik oder Peltier-Elementen erwärmt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Feuchtigkeit des zu reinigenden Gases (1) durch Ändern der Ionenkonzentration der Elektrolytlösung eingestellt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrolytlösung zum Hydrolysieren gemäß Regenerationsschritt a) erwärmt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus der Elektrolytlösung nach dem Hydrolysieren gemäß Regenerationsschritt a) mittels einer mechanischen Trenneinrichtung (4) in der Elektrolytlösung nicht gelöste anorganische Stoffe, welche von der Elektrolytlösung bei der Gaswäsche aufgenommen wurden, abgeschieden werden.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrolytlösung beim elektrochemischen Konvertieren gemäß Regenerationsschritt b) insbesondere in zumindest einer einkammrigen als Durchflusszelle konzipierten Elektrolysezelle, welche ein Elektrodenpaket aus zumindest zwei an eine Spannungsquelle angeschlossenen Kontaktelektroden aufweist, kontinuierlich ein- und ausgeleitet, wird, wobei sie das Elektrodenpaket durchströmt.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim elektrochemischen Konvertieren gemäß Regenerationsschritt b) die Verweilzeit der Elektrolytlösung in der Elektrolysezelle, die Temperatur der Elektrolytlösung, der pH-Wert der Elektrolytlösung, die Ionenkonzentration der Elektrolytlösung sowie die Stromstärke und die Spannung der Spannungsquelle Prozessparameter sind, welche eingestellt werden.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrolytlösung unmittelbar nach dem elektrochemischen Konvertieren gemäß Regenerationsschritt b) in eine elektrochemische Zelle (6) geleitet wird, in welcher aus der Elektrolytlösung stammendes Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff gespalten wird, wobei der Sauerstoff, je nach Bedarf, der regenerieren Elektrolytlösung oder direkt dem durch die Gaswäsche gereinigten Gas zugeführt wird und wobei der Wasserstoff abgeleitet wird.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrolytlösung unmittelbar vor der Rückgewinnung gemäß Regenerationsschritt c) in einen Entgaser (7) geleitet wird, in welchem der Elektrolytlösung Phosphorsäure zugeführt wird bis der pH-Wert der Elektrolytlösung  $\leq 5$  ist.
22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phosphorsäure in Regenerationsschritt c) zurückgewonnen und in den Entgaser (7) zurückgeführt wird.
23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phosphat-Anionen in Regenerationsschritt c) an den als Anoden dienenden dreidimensionalen Elektroden adsorbiert werden, wobei durch Umpolung der mit Phosphat-Anionen beladenen dreidimensionalen Elektroden mit je einer Hilfselektrode die Phosphat-Anionen nachfolgend aus den Elektroden desorbieren sowie mit Oxoniumionen zu Phosphorsäure umgesetzt werden, welche abgelassen und zum Entgaser (7) rückgeführt wird.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Regenerationsschritt c) nach der kapazitiven Deionisation die deionisierte Lösung abgelassen wird und insbesondere durch Elektrolytlösung (Waschlösung) ersetzt wird.

25. Verfahren nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet**, die abgelassene deionisierte Lösung in einem Ausgleichsgefäß (9) gespeichert wird.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Regenerationsschritt c) die Hilfselektroden dreidimensionale Elektroden sind und die Desorption der Ionen bei einer Gleichspannung unterhalb der Zersetzungsspannung der in der Zelle befindlichen Lösung durchgeführt wird.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Regenerationsschritt c) die Hydroxidionen während der Desorption der Anionen, insbesondere der Phosphat-Anionen, in den Hilfselektroden angereichert werden.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass der regenerierten Elektrolytlösung vor der Gaswäsche zur Änderung ihrer Ionenkonzentration Wasser zugeleitet wird.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zu reinigende Gas (1) in einem ersten Gaswäscher mit einer basischen Elektrolytlösung und nachfolgend in einem zweiten Gaswäscher mit einer sauren Elektrolytlösung in Kontakt gebracht wird, wobei die beladenen Elektrolytlösungen jeweils gemäß den nacheinander ablaufenden Regenerationsschritten a) bis c) kontinuierlich regeneriert werden.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 29, **dadurch gekennzeichnet**, dass Regenerationsschritt b) in zwei Stufen in einer zweigeteilten Konvertierungsvorrichtung durchgeführt wird.
31. Verfahren nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der zweiten Stufe die Elektrolytlösung in einer Elektrolysezelle, welche Diamantpartikelelektroden enthält, einer Totaloxidation unterzogen wird.
32. Vorrichtung zur Durchführung von Gaswäsche mittels einer Elektrolytlösung als Waschflüssigkeit mit einem Gaswäscher (2), einer Konvertierungsvorrichtung (5) zum Abbau von von der Elektrolytlösung im Gaswäscher (2) aufgenommenen organischen Verbindungen, wobei die Konvertierungsvorrichtung (5) eine als Durchflusszelle konzipierte Elektrolysezelle aufweist, einer Vorrichtung zur Deionisation- und Desorption (8) zum Bilden einer regenerierten Elektrolytlösung, wobei diese Vorrichtung (8) der Konvertierungsvorrichtung (5) nachgeschaltet ist und mehrere Paare von mit einer Gleichspannungs- oder Gleichstromquelle verbundenen dreidimensionalen Elektroden zur Adsorption von Ionen aus der Elektrolytlösung und pro Paar von dreidimensionalen Elektroden je eine Hilfselektrode zum separaten Umpolen mit den dreidimensionalen Elektroden aufweist und einer Rückführung zum Zurückleiten der regenerierten Elektrolytlösung in den Gaswäscher (2).
33. Vorrichtung nach Anspruch 32, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie einen Wärmetauscher (3) aufweist, über welchen die aus dem Gaswäscher (1) abgeleitete Elektrolytlösung im Gegenstrom zur regenerierten Elektrolytlösung führbar ist.
34. Vorrichtung nach Anspruch 32 oder 33, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Heiz/Kühlvorrichtung (10, 11) zum Heizen bzw. Kühlen der regenerierten Elektrolytlösung aufweist.
35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 32 bis 34, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie als Klimaanlage betreibbar ist.
36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 32 bis 35, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Gaswäscher (2) und der Konvertierungsvorrichtung (5) eine mechanische Trenneinrichtung (4) zum Abtrennen von in der Elektrolytlösung nicht löslichen anorganischen Verunreinigungen vorgesehen ist.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 32 bis 36, **dadurch gekennzeichnet**, dass unmittelbar nach der Konvertierungsvorrichtung (5) eine elektrochemische Zelle (6) zur Erzeugung von Sauerstoff und Wasserstoff vorgesehen ist.
38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 32 bis 37, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Vorrichtung zur Deionisation- und Desorption (8) ein Entgaser (7) vorgeordnet ist.

**Hierzu 1 Blatt Zeichnungen**

Fig. 1

