

Verfahren zur Bindung, Transport, Reaktionsaktivierung, Umsatz, Speicherung und Freisetzung von wasserlöslichen Gasen

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zur selektiven Bindung, selektiven Membrantransport und Speicherung von Kohlendioxid (CO_2) in wässrigen Medien. Das Verfahren der vorliegenden Erfindung umfasst das Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, die mindestens eine Akzeptorverbindung enthält, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist, die mit einem Gas, das Kohlendioxid enthält, in Kontakt gebracht wird, um das Kohlendioxid in der Akzeptorlösung zu binden. Die dadurch erhaltenen Akzeptorlösungen enthaltend gebundenes Kohlendioxid sind nützlich zur Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, für die erneute Freisetzung von Kohlendioxid, und zur Anwendung in elektrochemischen Verfahren, wie z.B. Elektrodialyse, um gebundenes Kohlendioxid selektiv durch Trennmembranen in wässrige Medien zu transportieren. Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin die Herstellung von Carbonaten und Hydrogencarbonaten ausgehend von Akzeptorlösungen, die gebundenes Kohlendioxid enthalten.

Stand der Technik

Gasförmige Elemente bzw. Elementmoleküle oder gasförmige molekulare Verbindungen sind häufig begehrte Ausgangsstoffe für die chemische Synthese. Daher wird versucht diese Elemente bzw. Elementmoleküle oder Verbindungen in reiner Form zu gewinnen, wobei oft ein großer technischer Aufwand oder Energieeintrag erforderlich ist. Im Stand der Technik sind Verfahren zur Gewinnung technischer Gase durch eine Abtrennung mittels Separationsmembranen bekannt. Bei Luftgemischen liegen zumeist sehr niedrige Konzentrationen der abzutrennenden gasförmigen Elemente bzw. Elementmoleküle oder gasförmigen molekulare Verbindungen vor. Die Separationseffizienz ist zumeist nicht im gewünschten Bereich, insbesondere, wenn es sich um Elemente bzw. Elementmoleküle oder gasförmige molekulare Verbindungen handelt, die sich hinsichtlich ihrer physiko-chemischen Eigenschaften nur wenig voneinander unterscheiden.

Bei gasförmigen Elementen bzw. Elementmolekülen oder gasförmigen molekularen Verbindungen, die in einer Flüssigkeit aufgenommen werden können, kann eine Separation von gasförmigen Elementen bzw. Elementmolekülen oder gasförmigen molekularen Verbindungen, die nicht oder nur in geringem Umfang in der Flüssigkeit aufgenommen/gelöst werden, vorgenommen werden.

Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das gasförmige Element bzw. Elementmolekül oder die gasförmige molekulare Verbindung in einem wässrigen Medium zu einer Dissoziation von Wassermolekülen führt und sich eine wasserlösliche Verbindung, z.B. eine Säureform, des gasförmigen Elements bzw. Elementmoleküls oder der gasförmigen Verbindung ausbildet. Dies ist beispielsweise bei gasförmigen Verbindungen aus Kohlenstoff und Sauerstoff oder Schwefel und Sauerstoff der Fall, wie Kohlendioxid (CO_2) oder Schwefeldioxid (SO_2), wobei beispielsweise Kohlensäure oder Schwefelsäure in geringen Konzentrationen in einem wässrigen Medium entstehen. Diese gasförmigen molekularen Verbindungen wie Kohlendioxid (CO_2) oder Schwefeldioxid (SO_2), die in einem wässrigen Medium zu einer Dissoziation von Wassermolekülen führt und sich eine wasserlösliche Säureform ausbildet, werden im Stand der Technik auch als saure Gase bezeichnet. Ionische oder ionisierbare Verbindungen, z.B. Salze, lassen sich mit der Flüssigkeit oder aus der Flüssigkeit separieren. Zur Abtrennung aus einem wässrigen Medium sind Verfahren, wie eine Elektrodialyse mittels geeigneter Membranen, aus dem Stand der Technik bekannt. Die Elektrodialyse ist ein Verfahren zur Trennung von Ionen in Salzlösungen. Entsalzung, Trennung und Konzentrierung von Salzen, Säuren und Basen sind die Anwendungsmöglichkeiten des Elektrodialyse-Verfahrens. Die dazu notwendige Trennung der Ionen erfolgt durch ein über eine Anode und eine Kathode angelegtes elektrisches Feld sowie über Ionenaustauschmembranen bzw. semipermeablen, ionenselektiven Membranen. Die Elektrodialyse ist somit ein elektrochemisch getriebener Membranprozess in dem

Ionenaustauschmembranen in Kombination mit einer elektrischen Potentialdifferenz genutzt werden, um ionische Verbindungen von z.B. ungeladenen Lösungsmitteln oder Verunreinigungen abzutrennen. Aus dem Stand der Technik sind beispielsweise Elektrodialyse-Vorrichtungen bekannt, die aus einer wechselseitigen Anordnung von Anionen- und Kationenaustauscher-

5 Membranen bestehen, die zwischen zwei Elektroden angeordnet sind, und wobei die außen angebrachten Elektroden von den an den Membranen ablaufenden Prozessen getrennt sind und in einer separaten Kammer von einer elektrisch leitenden, wässrigen Elektrodenlösung umspült werden, welche elektrolytisch zersetzt wird. An der Kathode entsteht dabei Wasserstoffgas und der an der Anode entsteht dabei Sauerstoffgas. Problematisch ist dabei, dass wenn die Konzentration

10 der in der Flüssigkeit gelösten Verbindungen wasserlöslicher Gase bzw. gasförmiger Verbindung, die bei Kontakt mit Wasser mit diesem chemisch reagieren, wie z.B. Kohlensäure oder Schwefeldioxid nur gering ist, die elektrophoretische Separationsleistung bei dem elektrochemischen Prozess der Elektrodialyse begrenzt wird und es durch die gleichzeitig bei der Elektrodialyse stattfindende Elektrolyse der Wassermoleküle zu einem energetischen Verlust

15 kommt. Ferner besteht zumeist das Problem, dass das Aufnahmemedium, also das Medium, in dem die zu separierende Verbindung, bzw. dessen Reaktionsprodukt mit Wasser konzentriert wird, ebenfalls wasser-basierend sein muss, um eine elektrische Leitfähigkeit herzustellen und die separierte Verbindung, bzw. dessen Reaktionsprodukt mit Wasser, für eine Verwendung zunächst wieder in einen gasförmigen Zustand gebracht werden muss. Daher gibt es im Stand der Technik

20 kein Verfahren, bei dem ein Gas oder gasförmige Verbindung zunächst in einem wässrigen Medium gelöst wird und dann selektiv in ein weiteres wässriges Medium (Aufnahmemedium) transportiert wird, um es dann als Gasphase gewinnen bzw. um diese wieder als Gas oder gasförmige Verbindung freisetzen zu können.

Ein bekanntes Verfahren zur Reinigung von Biogas von Schwefel und Kohlenstoffdioxid stellt die sogenannte Druckwasserwäsche dar. Bei der Druckwasserwäsche wird im Gegenstromprinzip Wasser und das Rohbiogas unter Druck in einem Absorber gereinigt, wobei sich die abzutrennenden Gase und ein geringer Teil des enthaltenen Methans in der Waschlösung lösen. Eine nachfolgende stoffliche Nutzung von z. B. CO_2 ist mit der Druckwasserwäsche allerdings nicht möglich.

Ein weiteres bekanntes Verfahren zur Abtrennung von Kohlenstoffdioxid, Schwefelwasserstoff und anderen sauren Gasen aus Gasgemischen bei der Erdgasaufbereitung stellt die sogenannte Aminwäsche dar. Bei der Aminwäsche werden leicht alkalische wässrige Lösungen von Aminen, wie z.B. Diethanolamin und Monoethanolamin, aber auch Methyldiethanolamin, Diisopropylamin, Diisopropanolamin und Diglycolamin eingesetzt, die saure Gaskomponenten reversibel chemisch absorbieren können (Chemisorption). Das zu reinigende Gas wird üblicherweise bei einem Druck von ca. 8 bar und bei Temperaturen von ca. 40°C in die wässrige Aminlösung eingeleitet. Bei der Absorption von CO_2 im Amin/Wasser-Gemisch löst sich zunächst das CO_2 im Wasser und bildet Kohlensäure. Die entstandene Kohlensäure zerfällt zunächst zu H^+ und HCO_3^- -Ionen. Diese können dann mit dem Amin reagieren, so dass das absorbierte CO_2 chemisch reversibel gebunden

40 wird, wobei Carbamate gebildet werden, die in einem Desorber wieder aufgelöst werden können. Im Desorber wird bei hoher Temperatur und niedrigem Druck das chemische Gleichgewicht umgekehrt und somit das gebundene saure Gas der Aminlösung entzogen und freigesetzt. Die Aminwäsche hat allerdings insbesondere den Nachteil, dass die dabei verwendeten Amine gesundheitsschädlich sind und als die dritthäufigste Ursache für arbeitsplatzbedingte

45 Krebserkrankungen gelten.

Daher besteht ein großer Bedarf an einem Verfahren, bei dem zum einen ein gasförmiges Element bzw. Elementmolekül oder gasförmige Verbindung, insbesondere Kohlendioxid, in einer wässrigen Flüssigkeit gelöst bzw. absorbiert wird und in einen ionisierten oder ionisierbaren Zustand gebracht

wird und dann mittels eines diffusiven oder elektrophoretischen Prozessschritts durch eine Separationsmembran geleitet und in ein weiteres wässriges Medium (ein Aufnahmemedium) überführt wird, wodurch ein Gas und/oder eine reaktive Verbindung der separierten Verbindung in dem wässrigen Medium vorliegt, die mit einem anderen Element bzw. Elementmolekül oder Verbindung zur Reaktion gebracht wird oder als Gas von dem wässrigen Medium abgeschieden und separiert wird. Dabei sollte vorzugsweise die Löslichkeit und Ionisierbarkeit des gasförmigen Elements bzw. Elementmoleküls oder der gasförmigen Verbindung derart gesteigert werden, dass ein energieeffizienter Transport der abzutrennenden Verbindung ermöglicht wird.

Somit besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung in der Bereitstellung eines neuen Verfahrens zur Bindung bzw. Absorption und nachfolgender Speicherung eines gasförmigen Element bzw. Elementmolekül oder gasförmigen Verbindung, besonders von sauren Gasen und insbesondere von Kohlendioxid (CO_2), in wässrigen Medien, wie auch in der Gewinnung von reinen gasförmigen Elementen bzw. Elementmolekülen oder gasförmige Verbindungen, insbesondere von Kohlendioxid (CO_2). Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung betrifft daher die Bereitstellung von Verfahren zur Lösung/Bindung/Transport/ Reaktionsaktivierung/chemischen Umsatz sowie selektiven Freisetzung einer in Wasser löslichen gasförmigen Verbindung, insbesondere von Kohlendioxid.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die technische Lehre der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung, den Figuren sowie den Beispielen.

Beschreibung

Überraschenderweise wurde gefunden, dass die Aufgabe gelöst wird durch die Bereitstellung von wässrigen Akzeptormedien, in denen organische Akzeptorverbindungen enthalten sind, die mindestens eine Amidino- und/oder Guanidino-Gruppe enthalten und gleichzeitig hydrophile Eigenschaften aufweisen. Es wurde gefunden, dass hierdurch ein(e) Lösung/Bindung/Transport/Reaktionsaktivierung/chemischer Umsatz sowie selektive Freisetzung einer in Wasser löslichen gasförmigen Verbindung ermöglicht werden kann. Wasserlöslich bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die gasförmige Substanz/ gasförmige Verbindung bei Kontakt mit Wasser mit diesem chemisch reagiert, z. B. unter Ausbildung eines Säureanhydrids oder einer Säure. Sie liegt dann in Wasser als organische oder anorganische Säure oder nach Dissoziation in Wasser als das entsprechende Anion vor.

Bei der in Kontaktbringung von gasförmigen Verbindungen mit Wasser können wasserlösliche Reaktionsprodukte entstehen. Im Fall von Kohlendioxid, kommt es bei einer Reaktion mit Wasser zur Bildung von Hydrogencarbonat (HCO_3^-) und Carbonat (CO_3^{2-}), die in der Folge auch als **Kohlendioxid-Derivate** bezeichnet werden.

Im Stand der Technik ist bekannt, dass sich die Löslichkeit von gasförmigen Elementen bzw. Elementmolekülen oder gasförmigen Verbindungen, die mit Wasser zu wasserlöslichen Derivaten reagieren, in Wasser, durch die Verwendung von alkalischen Lösungen gesteigert werden kann. Dies trifft insbesondere auf saure Gase wie Kohlendioxid oder Schwefeldioxid zu.

Im Stand der Technik werden zur Herstellung von alkalischen Lösungen, Laugen von Alkali- und Erdalkalimetallen eingesetzt, z.B. wässrige Lösungen von Natriumhydroxid oder Kaliumhydroxid. Der Einsatz von diesen Verbindungen zur Lösung und Aufnahme gasförmiger Verbindungen in einem wässrigen Medium führt bei Anwesenheit von Kohlendioxid dazu, dass Carbonate oder Hydrogencarbonate (die Salze der Kohlensäure) entstehen und diese als Feststoff ausfallen, wie z.B. Calciumcarbonat, das praktisch unlöslich in Wasser ist. Dies ist unerwünscht, wenn die in die wässrige Lösung übergegangene gasförmige Verbindung in einem reinen und gasförmigen Zustand wieder zurückerhalten werden soll.

Aus dem Stand der Technik ist ferner bekannt, dass Verbindungen, die tertiäre oder quartäre

Stickstoffverbindungen enthalten und zur Bildung einer Basizität in einem wässrigen Medium geeignet sind, wie beispielsweise Ammoniak, ebenfalls die Löslichkeit von Gasen und gasförmigen Verbindungen in einem wässrigen Medium verbessern. Nachteilig dabei ist, dass die im Stand der Technik vorhandenen tertiären oder quartären Stickstoffverbindungen in wässriger Lösung im elektrischen Gleichspannungsfeld elektrokinetisch kathodenwärts transportiert werden. Daher sind sie für die Durchführung einer elektrophoretischen Trennaufgabe, wie z.B. in einem elektrochemischen Verfahren wie der Elektrodialyse, ungeeignet.

Überraschenderweise wurde gefunden, dass es möglich ist, die Reaktion von Gasen/gasförmigen Verbindungen mit Wasser, die zur Ausbildung von wasserlöslichen Verbindungen des Gases/der gasförmigen Verbindung führt, zu steigern durch die Verwendung von basischen Aminosäuren, die in einem wässrigen Akzeptormedium gelöst vorliegen. Wie hierin verwendet, sind basische Aminosäuren definiert als Aminosäuren, die im Aminosäure-Rest (Seitenkette) eine Aminogruppe oder N-Atome mit freien Elektronenpaaren aufweisen. Nehmen diese N-Atome ein Proton auf, so bildet sich eine positiv geladene Seitenkette. Die Aminosäuren Histidin, Lysin und Arginin gehören zu den basischen Aminosäuren. Erfindungsgemäß bevorzugt sind hierin basische Aminosäuren, die mindestens eine Guanidino- und/oder Amidinogruppe tragen, wie beispielsweise Arginin. Bei der Verwendung von wässrigen Lösungen von Aminosäuren, die mindestens eine Guanidino- und/oder Amidinogruppe tragen und die sich in einem wässrigen Medium leicht lösen und ein Proton aufnehmen oder aufnehmen können, welche in der wässrigen Lösung dissoziiert vorliegen sowie durch dessen Lösung in Wasser sich ein basischer pH einstellt, konnte dokumentiert werden, dass eine sehr rasche Aufnahme von gasförmigen Kohlendioxid in derartige Lösungen erfolgte, wenn ein Gas oder Gasgemisch mit einer solchen Akzeptorlösung in Kontakt gebracht wurde. Es wurde ferner gefunden, dass pro Guanidino- oder Amidinogruppe jeweils ein Hydrogencarbonat-Anion oder Carbonat-Anion gebunden wird. Überraschenderweise besteht bei einem pH der Lösung von > 8 nur eine sehr geringe Dissoziationsrate der gebundenen Hydrogencarbonat-Anionen oder Carbonat-Anionen, sodass zur Bindung von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen keine Druckbeaufschlagung des wässrigen Akzeptormediums mit einem Gas, bestehend aus oder enthaltend Kohlendioxid, notwendig ist, um eine rasche und vollständige Bindung der sich in der basischen Lösung ausbildenden Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen zu gewährleisten. Somit kann durch wasserlösliche Verbindungen, die eine oder mehrere freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe(n) tragen, zum einen eine sehr gute Lösung bzw. Absorption von Kohlendioxid in einem wässrigen Medium erreicht werden und gleichzeitig eine sehr stabile Bindung von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen an freien Guanidino-/Amidinogruppen gewährleistet werden. Es konnte gezeigt werden, dass diese Eigenschaften der erfindungsgemäßen Akzeptormedien auch zur Lösung und Bindung von anderen organischen und anorganischen Gasen/gasförmigen Verbindungen, wie beispielsweise Schwefelwasserstoff oder Chlorgas, verwendet werden können. Hierdurch kann die Aufnahmekapazität von Gasen/Gasgemischen, die in Wasser löslich sind und mit diesem zu wasserlöslichen Verbindungen reagieren, erheblich gesteigert werden. Insbesondere kann die Aufnahmekapazität für Kohlendioxid in Wasser durch die Anwesenheit von wasserlöslichen Verbindungen, die eine oder mehrere freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe(n) tragen, erheblich gesteigert werden. Dabei wird die Aufnahme in das wässrige Medium, die Reaktion mit Wasser sowie die Bindung von Kohlendioxid und dessen Derivaten in Wasser erhöht bzw. beschleunigt.

Somit wurde gefunden, dass Verbindungen, die mindestens eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweisen, reaktionsfördernde und bindende Eigenschaften gegenüber Kohlendioxid und dessen Derivaten in Wasser (Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen) aufweisen. Die physiko-chemische Interaktionen, die zwischen Kohlendioxid bzw. dessen Derivaten in Wasser und Verbindungen, die mindestens eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe enthalten,

entstehen, verleihen den Verbindungen, die mindestens eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe enthalten, **Akzeptor-Eigenschaften**, die sowohl eine Lösung, als auch Bindung sowie eine Reaktionsförderung und einen chemischen Umsatz, sowie auch eine Speicherung von Kohlendioxid bzw. dessen Derivaten in Wasser ermöglichen. Verbindungen, die eine freie

5 Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweisen, werden daher im Folgenden **Akzeptorverbindungen** genannt und ein Medium in dem mindestens eine Verbindung, die mindestens eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist, vorliegt wird im Folgenden **Akzeptormedium** genannt.

Daher kann mit einer wässrigen Lösung, in der mindestens eine Verbindung, die mindestens eine

10 freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist und die in gelöster Form vorliegt, eine **Akzeptorlösung** bereitgestellt werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Löslichkeit einer gasförmigen Verbindung in einem wässrigen Akzeptormedium d.h. in einer Akzeptorlösung, erhöht wird. Insbesondere bevorzugt ist

15 hierin ein Verfahren bei dem die gasförmige Verbindung Kohlendioxid ist. Erfindungsgemäß wird hierin als wässriges Akzeptormedium, d.h. eine Akzeptorlösung enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist, bereitgestellt, welche die technische Wirkung einer erhöhten Löslichkeit einer gasförmigen Verbindung, insbesondere Kohlendioxid, aufweist. Der Begriff Löslichkeit bezieht sich hierbei auf das Lösen von wasserlöslichen Gasen, die bei Kontakt mit Wasser mit diesem chemisch reagieren, wie

20 beispielsweise von sauren Gase, die bei einer Lösung in Wasser eine Säure bzw. eine schwache Säure bilden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine wässrige Akzeptorlösung bereitgestellt wird, die mindestens eine Akzeptorverbindung, die mindestens eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist, enthält und mit einem Gas oder Gasgemisch in Kontakt gebracht wird.

25 Die vorliegende Erfindung betrifft daher insbesondere ein Verfahren, bei dem eine wässrige Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist, bereitgestellt wird und die wässrige Akzeptorlösung mit einem Gas oder Gasgemisch enthaltend Kohlendioxid in Kontakt gebracht wird, um das Kohlendioxid aus dem Gas oder Gasgemisch zu binden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein wässriges Akzeptormedium, d.h. eine Akzeptorlösung und ein Gas/Gasgemisch das mindestens einen gasförmigen Anteil enthält, der sich in Wasser unter Ausbildung einer Säure bzw. Anions löst, miteinander in Kontakt gebracht werden, wobei die

30 mindestens eine gasförmige Verbindung, die sich unter Ausbildung einer Säure und/oder eines Anions in Wasser löst, durch die mindestens eine Akzeptorverbindung, die in dem Akzeptormedium, d.h. in der Akzeptorlösung vorliegt, gebunden wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, zur Erhöhung der Löslichkeit und Bindung von Gasen, die in Wasser eine Säure/anionische Verbindung ausbilden und/oder in anionischer Form vorliegen, d.h. von sauren Gasen, in einem wässrigen Akzeptormedium, bei dem mindestens eine Akzeptorverbindung vorliegt, die eine hydrophile organische Verbindung ist, die mindestens eine

40 Amidino- und/oder Guanidinogruppe enthält. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem gasförmige Verbindungen in einem wässrigen Akzeptormedium anionisch an die Akzeptorverbindung gebunden werden. Anionisch bedeutet, dass die gebundene gasförmige Verbindung in der Akzeptorlösung dissoziiert und in der wässrigen Lösung als Anion vorliegt und die Akzeptorverbindung protoniert wird und das Gegen-Ion bildet. Erfindungsgemäß weist die

45 Akzeptorverbindung eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe auf, die protoniert werden kann, um so das Kation als Gegen-Ion zu dem Anion der gasförmigen Verbindung in der Akzeptorlösung bereitzustellen.

Das Verfahren der vorliegenden Erfindung umfasst daher mindestens die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist; und

5 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a).

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem mindestens eine hydrophile organische Verbindung, die mindestens eine Amidino- und/oder Guanidino-Gruppe enthält, in einem wässrigen Akzeptormedium vorliegt, um gasförmige Verbindungen, die bei Kontakt mit Wasser Säuren bilden oder hierin in anionischer Form vorliegen, zu lösen, neutralisieren und zu binden und/oder mit
10 anderen Verbindungen in Kontakt zu bringen und umzusetzen oder die gebundene gasförmige Verbindung selektiv als Gas freizusetzen. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem mindestens eine hydrophile organische Verbindung, die mindestens eine Amidino- und/oder Guanidino-Gruppe enthält, in einem wässrigen Akzeptormedium vorliegt, um saure Gase, insbesondere Kohlendioxid, zu lösen, neutralisieren und zu binden. Weiterhin kann das wässrige Akzeptormedium enthaltend
15 die gebundenen sauren Gase, insbesondere Kohlendioxid, mit anderen Verbindungen in Kontakt gebracht werden, um die gebundenen sauren Gase, insbesondere Kohlendioxid umzusetzen z.B. im Fall von Kohlendioxid in wasserunlösliche oder in Wasser schwer lösliche Carbonate oder Hydrogencarbonate umzusetzen oder um die gebundenen sauren Gase, insbesondere Kohlendioxid, selektiv als Gas, insbesondere als gasförmiges Kohlendioxid freizusetzen.

20 Die vorliegende Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

25 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b).

30 Bevorzugten Ausführungsformen umfassen den Schritt c):

c) Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b) bei Atmosphärendruck.

35 Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

40 c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und FreisetzungsmEDIUM.

45 Alternativ formuliert betrifft die vorliegende Erfindung daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium.

c2) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxid/der Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c).

Alternativ formuliert betrifft die vorliegende Erfindung daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium.

c2) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen aus Schritt c).

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Versetzen der Akzeptorlösung aus Schritt b) enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten mit einer Reaktionsverbindung.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivate in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; und

d2) Versetzen des Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c) mit einer Reaktionsverbindung.

Alternativ formuliert betrifft die vorliegende Erfindung daher ein Verfahren zur selektiven Bindung,

Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

5 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium.

d2) Versetzen des Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen aus Schritt c) mit einer Reaktionsverbindung.

10

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

15 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; oder

20 Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b).

Alternativ formuliert betrifft die vorliegende Erfindung daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

25 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

30 c) Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b); und/oder

Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium.

35 Die vorliegende Erfindung betrifft daher bevorzugt Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

40 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a);

c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; oder

45 Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b); und

c2) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c); oder

d2) Versetzen des Aufnahme- und Freisetzungsmediums, enthaltend gebundenes Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c) mit einer Reaktionsverbindung.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Lagern der Akzeptorlösung, enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b); und/oder

Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; und

c2) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium, enthaltend gebundenes Kohlendioxid/der Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c); oder

d2) Versetzen des Aufnahme- und Freisetzungsmediums, enthaltend gebundenes Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c) mit einer Reaktionsverbindung.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Lösung von Kohlendioxid in einem wässrigen Medium unter Ausbildung von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen, bei dem gleichzeitig eine stabile physiko-chemische Bindung der entstehenden Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in dem wässrigen Akzeptormedium erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Lösung von Kohlendioxid sowie die Bindung des hierdurch entstandenen Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anions durch/an freie Guanidino- und/oder Amidinogruppen in einem wässrigen Akzeptormedium erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die wasserlöslichen Akzeptorverbindungen Verbindungen sind, die freie Guanidino- und/oder Amidinogruppen tragen, die bei Lösung in Wasser mindestens ein Proton aufnehmen oder aufnehmen können.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die wasserlöslichen Akzeptorverbindungen Aminosäuren sind, die mindestens eine Guanidino- und/oder Amidinogruppe tragen und in wässriger Lösung mindestens ein Proton binden oder binden können.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die wasserlöslichen Akzeptorverbindungen zur Lösung von Kohlendioxid sowie zur Bindung und zum Transport von Kohlendioxid, bzw. dessen Derivaten in Wasser sowie der hierdurch entstandenen Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen, Arginin und/oder Argininderivate sind.

Besonders bevorzugt ist daher ein Verfahren, wobei die mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist, ein Argininderivat oder am meisten bevorzugt Arginin ist. Für die Bindung und Speicherung von Kohlendioxid in einem wässrigen Medium haben sich Akzeptorlösungen, enthaltend mindestens ein Argininderivat oder besonders bevorzugt Arginin, als besonderes vorteilhaft und effektiv erwiesen.

Überraschenderweise wurde gefunden, dass es möglich ist, Kohlendioxid, das in einem Gasgemisch enthalten ist, mit den erfindungsgemäßen Verfahren vollständig aus dem Gasgemisch zu entfernen.

Vollständige Entfernung bedeutet dabei, dass nach Kontaktierung eines Gasgemisches, enthaltend Kohlendioxid, mit einer Akzeptorlösung, der Gehalt an Kohlendioxid in dem behandelten Gas/Gasgemisch < 1 ppm ist.

Die in Kontaktbringung des Gases oder Gasgemisches mit dem wässrigen Akzeptormedium kann in verschiedenen Verfahrensausführungen, die im Stand der Technik bekannt sind, ausgeführt werden. So kann die Kontaktierung der beiden Phasen durch eine Einbringung der Gasphase in die Flüssigphase erfolgen oder die Gasphase wird über eine Oberfläche, die mit der Flüssigphase

5 benetzt ist, geleitet. In einer bevorzugten Verfahrensausführung werden Verfahren zur in Kontaktbringung von Gas- und Flüssigphasen verwendet, die eine sehr große Grenzfläche zwischen den Phasen bewirken. Dies sind Vorrichtungen, wie z. B. Homogenisatoren/dynamische Mischvorrichtungen, aber auch statische Mischvorrichtungen, sowie Füllkörper-Gaswaschvorrichtungen.

10 Bevorzugt ist ein Verfahren bei dem ein Gas/Gasgemisch mit einem Akzeptormedium in Kontakt gebracht wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem durch die in Kontaktbringung eines Gases/Gasgemisches mit einem Akzeptormedium der darin befindliche Anteil an Kohlendioxid sich vollständig in dem Akzeptormedium löst und hierin gebunden wird.

15 Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem durch die in Kontaktbringung eines Gases/Gasgemisches mit einem Akzeptormedium der darin befindliche Anteil an Kohlendioxid und/oder die Reaktionsprodukte von Kohlendioxid mit Wasser vollständig durch eine Akzeptorverbindung gebunden wird/werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine große Grenzfläche zwischen dem wässrigen Akzeptormedium und der Gasphase, enthaltend Kohlendioxid, hergestellt wird.

20 Der enorme Vorteil, der sich aus der stabilen Verbindung zwischen den freien Guanidino- und/oder Amidinogruppen und den Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen ergibt, besteht insbesondere darin, dass es trotz einer hohen Konzentration von gelöstem Kohlendioxid in dem Akzeptormedium nicht zu einer Rückdissoziation in den gasförmigen Zustand kommt, sodass zur Aufrechterhaltung einer hohen Konzentration an gelöstem Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukten mit Wasser, keine Druckbeaufschlagung des Akzeptormediums erforderlich ist.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Lösen und Binden von Kohlendioxid sowie dessen Derivate ohne Druckbeaufschlagung der Akzeptorlösung erfolgt. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Lösen und Binden von Kohlendioxid bei Atmosphärendruck erfolgt. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Lösen und Binden von Kohlendioxid ohne Überdruck erfolgt. Der mittlere Luftdruck der Atmosphäre (Atmosphärendruck) auf Meereshöhe beträgt normgemäß $101.325 \text{ Pa} = 101,325 \text{ kPa} = 1013,25 \text{ hPa} \approx 1 \text{ bar}$. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Lösen und Binden von Kohlendioxid bei Normaldruck erfolgt. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Lösen und Binden von Kohlendioxid bei Normaldruck von $101,325 \text{ kPa}$ erfolgt. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Lösen und Binden von Kohlendioxid drucklos erfolgt.

Bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassen den Schritt b):

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a), wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Normaldruck bzw. Atmosphärendruck erfolgt.

40 Bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassen den Schritt b):

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a), wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Normaldruck erfolgt.

45 Bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassen den Schritt b):

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a), wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt.

Bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassen den Schritt b):

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a), wobei das Kontaktieren in Schritt b) ohne Druckbeaufschlagung erfolgt.

Bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassen den Schritt b):

- 5 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a), wobei das Kontaktieren in Schritt b) drucklos erfolgt.

10 Hierbei bedeutet, Kontaktieren bei Normaldruck bzw. bei Atmosphärendruck bzw. ohne Druckbeaufschlagung, dass die Akzeptorlösung unter Normaldruck bzw. Atmosphärendruck bzw. ohne Druckbeaufschlagung bereitgestellt wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- 15 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
- 20 c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; oder
- Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b),
- wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt und/oder wobei die Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck gelagert wird. Bevorzugt sind
- 25 Ausführungsformen, wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt; und wobei die Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck gelagert wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- 30 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
- 35 c) Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b); und/oder
- Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium,
- wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt und/oder wobei die
- 40 Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck gelagert wird. Bevorzugt sind Ausführungsformen, wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt und wobei die Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck gelagert wird.

45 Aus diesem Aspekt der Erfindung ergeben sich weitere besonders vorteilhafte Effekte für weitere Verfahrensausführungen. So ist es möglich das in der Akzeptorlösung absorbierte Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukte mit Wasser, drucklos d.h. hierin ohne Überdruck bzw. bei Atmosphärendruck bzw. Normaldruck über einen Zeitraum von > 6 Monaten verlustfrei aufzubewahren. Somit lässt sich die nicht-korrosive Akzeptorlösung enthaltend gebundenes

Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukte mit Wasser, gefahrlos lagern und in Behältern transportieren. Hierbei bedeutet das Transportieren ein Überführen der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid in ein transportables Gefäß, wie einen Großbehälter, Container oder Fass etc. Geeignete Transportbehälter zum Transportieren von Flüssigkeiten sind dem Fachmann wohl bekannt. Das gefahrlose Lagern und Transportieren bezieht sich hier nicht auf das Transportieren des gebundenen Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivate in der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium. Das Transportieren des gebundenen Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivate in der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium kann hierin daher auch als Membrantransport bezeichnet werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Lösen und Binden von gasförmigem Kohlendioxid sowie dessen Reaktionsprodukten mit Wasser, ohne Druckbeaufschlagung der Akzeptorlösung erfolgt. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Lösen und Binden von gasförmigem Kohlendioxid sowie dessen Reaktionsprodukten mit Wasser in die Akzeptorlösung bei Atmosphärendruck bzw. bei Normaldruck erfolgt. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung drucklos erfolgt. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung bei Atmosphärendruck erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Lagerung und/oder der Transport (in einem Transportbehältnis) der Akzeptorlösung, enthaltend gelöstes und gebundenes Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukte mit Wasser, drucklos erfolgt. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Lagerung und/oder der Transport (in einem Transportbehältnis) der Akzeptorlösung, enthaltend gelöstes und gebundenes Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukte mit Wasser, bei Atmosphärendruck erfolgt.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Lagern und/oder Transportieren der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid aus Schritt b) in einem Lagerbehältnis und/oder Transportbehältnis,

wobei hierin bevorzugt ist, dass das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt und/oder wobei die Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck in dem Lagerbehältnis und/oder dem Transportbehältnis gelagert bzw. transportiert wird. Bevorzugt sind weiterhin Ausführungsformen, wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt und wobei die Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck in dem Lagerbehältnis und/oder dem Transportbehältnis gelagert bzw. transportiert wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der

Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; oder

Lagern und/oder Transportieren der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b),

- 5 wobei hierin bevorzugt ist, dass das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt und/oder wobei die Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck in einem Lagerbehältnis und/oder einem Transportbehältnis gelagert bzw. transportiert wird. Bevorzugt sind weiterhin Ausführungsformen, wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt und wobei die Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck in dem Lagerbehältnis und/oder dem
- 10 Transportbehältnis gelagert bzw. transportiert wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- 15 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
- c) Lagern und/oder Transportieren der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b); und/oder
- 20 Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium,
- wobei hierin bevorzugt ist, dass das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt und/oder wobei die Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck in einem Lagerbehältnis
- 25 und/oder einem Transportbehältnis gelagert bzw. transportiert wird. Bevorzugt sind weiterhin Ausführungsformen, wobei das Kontaktieren in Schritt b) bei Atmosphärendruck erfolgt und wobei die Akzeptorlösung aus Schritt c) bei Atmosphärendruck in dem Lagerbehältnis und/oder dem Transportbehältnis gelagert bzw. transportiert wird.

- 30 Gleichwohl kann durch eine Kontaktierung des Akzeptormediums mit dem Gas/Gasgemisch, enthaltend Kohlendioxid, die unter Druckbeaufschlagung des Gases/Gasgemisches erfolgt, die Menge an Kohlendioxid, die pro Zeiteinheit gelöst und gebunden wird, erhöht werden. Daher erfolgt in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform eine Anreicherung oder Sättigung der wässrigen Akzeptorlösung enthaltend Guanidino- und/oder Amidinogruppen-tragende
- 35 Verbindungen mit gelöstem Kohlendioxid in einer **Anreicherungs- und Sättigungsvorrichtung**, die eine Druckbeaufschlagung ermöglicht. Dies ermöglicht eine Beschleunigung der Anreicherung, bzw. das Erreichen des Zeitpunktes, an dem eine **Sättigung** erfolgt ist. Das Vorliegen einer Sättigung des Akzeptor-Mediums mit Kohlendioxid kann beispielsweise daran erkannt werden, dass die Konzentration von Kohlendioxid in dem Gasgemisch das durch die Anreicherungs- und Sättigungsvorrichtung geleitet wurde und austritt, ansteigt. Überraschenderweise wurde gefunden, dass sofern ein Überschuss an freien Guanidino- und/oder Amidinogruppen der Akzeptorverbindungen, im Verhältnis zu Kohlendioxid-Molekülen in einem Gas/Gasgemisch, in dem wässrigen Akzeptormedium vorliegt, es bei einer ausreichend langen Kontaktierung der Gasphase mit dem Akzeptormedium zu einer vollständigen oder nahezu vollständigen Abreicherung von Kohlendioxid
- 40 kommt. Nahezu vollständig bedeutet dabei eine Konzentration/Anteil von ≤ 100 ppm.
- 45 Insofern ist das Verfahren gerichtet auf eine vollständige oder nahezu vollständige Extraktion von Kohlendioxid aus einem Gas/Gasgemisch.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

5 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist, in einer Anreicherungsvorrichtung, die eine Druckbeaufschlagung ermöglicht;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a), wobei das Kontaktieren in Schritt b) unter Druckbeaufschlagung erfolgt, bevorzugt bis die Akzeptorlösung mit Kohlendioxid gesättigt ist.

10 Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

15 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; oder

20 Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b),

wobei die Akzeptorlösung aus Schritt a) in einer Anreicherungsvorrichtung, die eine Druckbeaufschlagung ermöglicht, bereitgestellt wird; und

das Kontaktieren in Schritt b) unter Druckbeaufschlagung erfolgt, bevorzugt bis die Akzeptorlösung mit Kohlendioxid gesättigt ist.

25 Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

30 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b); und/oder

35 Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium,

wobei die Akzeptorlösung aus Schritt a) in einer Anreicherungsvorrichtung, die eine Druckbeaufschlagung ermöglicht, bereitgestellt wird; und

40 das Kontaktieren in Schritt b) unter Druckbeaufschlagung erfolgt, bevorzugt bis die Akzeptorlösung mit Kohlendioxid gesättigt ist.

Bevorzugt ist eine Verfahren, bei dem ein Gas/Gasgemisch, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung bis zum Erreichen einer Kohlendioxid-Konzentration des Gases von < 100ppm kontaktiert wird.

45 Bevorzugt ist eine Verfahren, bei dem ein Gas/Gasgemisch, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung bis zum Erreichen einer Kohlendioxid-Konzentration des Gases von < 100ppm kontaktiert wird, wobei die Kontaktierung unter Druck erfolgt.

Bevorzugt ist eine Verfahren, bei dem ein Gas, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung, in

der im Verhältnis zur in dem Gas/Gasgemisch vorliegenden Anzahl an Kohlendioxid-Molekülen ein Überschuss an freien Guanidino- und/oder Amidinogruppen der Akzeptorverbindungen vorliegt, kontaktiert wird, bis zum Erreichen einer Kohlendioxid-Konzentration des Gases von < 100ppm.

Wie im Folgenden gezeigt, kann das Verfahren aber auch zum Umsatz des extrahierten und gebundenen Kohlendioxids sowie dessen Derivate genutzt werden. Hierzu ist es vorteilhaft, wenn die Konzentration/der Gehalt an Kohlendioxid und/oder der Kohlendioxid-Derivate in Wasser so hoch wie möglich ist. Daher ist es bevorzugt, ein Akzeptormedium solange mit einem Gas/Gasgemisch, das Kohlendioxid enthält oder aus diesem besteht, in Kontakt zu bringen, bis keine weitere Aufnahme hierin erfolgt, d.h. bis das Akzeptormedium mit Kohlendioxid gesättigt ist.

Dies kann beispielsweise daran erkannt werden, dass in dem Gas/Gasgemisch, das mit dem Akzeptormedium in Kontakt gebracht worden ist, der Gehalt an Kohlendioxid wieder ansteigt, z.B. auf > 100ppm ansteigt. Somit ist die Aufnahmekapazität des Akzeptormediums erschöpft und das Akzeptor-Medium ist mit Kohlendioxid gesättigt.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Sättigung eines Akzeptormediums mit Kohlendioxid und/oder Carbonat und/oder Hydrogencarbonat-Anionen, bei dem eine in Kontaktbringung des Akzeptor-Mediums mit einem Gas/Gasgemisch erfolgt, bis die Konzentration von Kohlendioxid in dem Gas/Gasgemisch, das mit dem Akzeptor-Medium in Kontakt gebracht worden ist, auf > 100ppm ansteigt.

Bevorzugt ist ein mit Kohlendioxid gesättigtes Akzeptormedium. In bevorzugten Ausführungsformen wird in Schritt b) des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Akzeptorlösung erhalten, die mit Kohlendioxid gesättigt ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt im Anschluss an eine Anreicherungsphase, bei der ein gegenüber dem Atmosphärendruck erhöhter Druck für die Beaufschlagung des Gases/Gasgemisches mit einem Akzeptormedium verwandt wurde, eine Entspannungsphase, bei der es, unter atmosphärischen Druck oder unter nur leicht erhöhtem oder unter erniedrigtem Druck, zu einer Entgasung von gelösten gasförmigen Verbindungen kommt, die nicht separiert werden sollen oder störend bei einer im Verlauf erfolgenden Reaktionsbildung sein könnten, wie beispielsweise Stickstoff oder Sauerstoff oder Methan. Überraschenderweise wurde gefunden, dass Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukte mit Wasser, im Anschluss an eine Sättigung des wässrigen Akzeptor-Mediums mit Kohlendioxid, auch wenn diese unter erhöhtem Druck erfolgt ist, nicht desorbiert wird bzw. ausgast, auch nicht bei Anlegen eines Unterdrucks von 100mbar. In einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt nach einer in Kontaktbringung des wässrigen Akzeptor-Mediums mit einem Gas/Gasgemisch, enthaltend Kohlendioxid, die bei Atmosphärendruck oder einem Überdruck erfolgt ist, eine Entfernung von gasförmigen Verbindungen aus einem wässrigen Akzeptor-Medium, die nicht Kohlendioxid entsprechen, durch Entspannen auf atmosphärischen Druck und/oder Anlegen eines Unterdrucks an des wässrige Akzeptormedium. In einer bevorzugten Ausführungsart werden durch eine Entspannung oder Anlegen eines Unterdrucks Gase/Gasanteile, die nicht Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukten mit Wasser, entsprechen, aus dem wässrigen Akzeptor-Medium entfernt.

Bei dieser Ausführungsform erfolgt die selektive Separation von Kohlendioxid vorzugsweise im Anschluss an die Entspannungsphase. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die in Kontaktbringung eines Gases/Gasgemisches mit einem wässrigen Akzeptormedium unter Atmosphärendruck oder erhöhtem Druck erfolgt und bei dem anschließend in einer Entspannungsphase, die unter atmosphärischen Druck oder Unterdruck erfolgt, Gase/Gasanteile, die nicht Kohlendioxid entsprechen, entweichen oder extrahiert werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist, in einer Anreicherungsanordnung, die eine Druckbeaufschlagung ermöglicht;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a), wobei das Kontaktieren in Schritt b) unter Druckbeaufschlagung erfolgt, bevorzugt bis die Akzeptorlösung mit Kohlendioxid gesättigt ist; und
- b') Entspannen der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b) bei Atmosphärendruck oder bei vermindertem Druck.
- 10 Alternativ formuliert betrifft die vorliegende Erfindung daher ein Verfahren zur selektiven Bindung und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:
- a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist, in einer Anreicherungsanordnung, die eine Druckbeaufschlagung ermöglicht;
- 15 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) unter Druckbeaufschlagung; und
- b') Belassen der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b) bei Atmosphärendruck oder bei vermindertem Druck.
- 20 Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:
- a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
- 25 c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmittel; oder
- Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b),
- 30 wobei die Akzeptorlösung aus Schritt a) in einer Anreicherungsanordnung, die eine Druckbeaufschlagung ermöglicht, bereitgestellt wird; und
- das Kontaktieren in Schritt b) unter Druckbeaufschlagung erfolgt, bevorzugt bis die Akzeptorlösung mit Kohlendioxid gesättigt ist,
- 35 wobei das Verfahren weiterhin den Schritt b') nach Schritt b) umfasst:
- b') Entspannen der Akzeptorlösung aus Schritt b) enthaltend gebundenes gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate bei Atmosphärendruck oder bei vermindertem Druck.
- Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:
- 40 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
- 45 c) Lagern der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b); und/oder
- Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und

Freisetzungsmedium,

wobei die Akzeptorlösung aus Schritt a) in einer Anreicherungsvorrichtung, die eine Druckbeaufschlagung ermöglicht, bereitgestellt wird; und

das Kontaktieren in Schritt b) unter Druckbeaufschlagung erfolgt, bevorzugt bis die
5 Akzeptorlösung mit Kohlendioxid gesättigt ist,

wobei das Verfahren weiterhin den Schritt b') nach Schritt b) umfasst:

b') Entspannen der Akzeptorlösung aus Schritt b) enthaltend gebundenes gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate bei Atmosphärendruck oder bei vermindertem Druck.

10 In einer bevorzugten Ausführungsart erfolgt im Anschluss an die in Kontaktbringung eines Gases/Gasgemisches, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung eine Freisetzung des in dem wässrigen Akzeptormedium gelösten Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukten mit Wasser, als Gasphase.

Im Allgemeinen wird bei einer Elektrolyse ein elektrischer Gleichstrom durch zwei Elektroden in
15 eine leitfähige Flüssigkeit (Elektrolytlösung) geleitet. An den Elektroden entstehen durch die Elektrolyse Reaktionsprodukte aus den im Elektrolyt enthaltenen Stoffen. Überraschenderweise wurde gefunden, dass durch ein Anlegen einer Gleichspannung an ein wässriges Akzeptormedium das mit Kohlendioxid beaufschlagt wurde, es an beiden Elektroden zu einer Freisetzung von Kohlendioxid in Form von Gasblasen kommt. Es wurde gefunden, dass sich hierdurch der gesamte
20 Gehalt an (gebundenem) Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukten mit Wasser, aus dem wässrigen Akzeptor-Medium entfernen lässt.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

25 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c1) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus der Akzeptorlösung enthaltend
30 gebundenes Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b).

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

35 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c1) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b) durch Anlegen einer
40 Gleichspannung in die Akzeptorlösung aus Schritt b).

Eine bevorzugte Ausführungsform betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung und Freisetzung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

45 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c1) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus der Akzeptorlösung enthaltend

gebundenes Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b) mittels Elektrolyse.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a);
- c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; und
- c2) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c) durch Anlegen einer Gleichspannung in das Aufnahme- und Freisetzungsmedium aus Schritt c).

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein wässriges Akzeptormedium mit Kohlendioxid in Kontakt gebracht und beladen wird und anschließend das in dem Akzeptormedium gelöste/gebundene Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukte mit Wasser, als Kohlendioxid-Gas freigesetzt wird, indem an das Akzeptormedium eine Gleichspannung angelegt wird.

Erwartungsgemäß werden neben Kohlendioxid auch Sauerstoff an der Anode und Wasserstoff an der Kathode freigesetzt. Überraschenderweise wurde dann gefunden, dass Kohlendioxid als hoch-reine Gasphase dadurch erhältlich gemacht werden kann, indem mittels eines elektrophoretischen Verfahrens die in der Akzeptorlösung befindlichen Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen aus dieser räumlich separiert werden können und anschließend durch Wasserabscheidung Kohlendioxid freigesetzt wird.

Es wurde gefunden, dass sich eine elektrophoretische Separation des in dem wässrigen Akzeptormedium gelösten und gebundenem Kohlendioxids, bzw. der Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen, mittels Elektrodialyse-Vorrichtungen, die im Stand der Technik vorhanden sind, bewerkstelligen lässt.

Es wurde ferner gefunden, dass offenporige Membranen geeignet sind, um eine elektrophoretische Durchleitung von gelöstem Kohlendioxid, bzw. Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen, zu ermöglichen. Dabei erfolgt der elektrophoretische Transport von gelöstem Kohlendioxid, bzw. Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen anodenwärts. Wird eine elektrische Gleichspannung an die Elektroden angelegt, so wandern Anionen zur Anode und die Anionen können eine positiv geladenen Anionentauschermembranen passieren.

Es wurde gefunden, dass eine Versuchsanordnung, bei der eine Elektrodialyse-Einheit verwendet wird, die aus der folgenden Anordnung besteht: Kathodenkammer/ Kammer für die Aufnahme der Akzeptorlösung (im Folgenden **Akzeptorkammer** genannt)/ Kammer in der die Freisetzung von Kohlendioxid in Form einer Gasphase erfolgt (im Folgenden **Aufnahme- und Freisetzungskammer** genannt) / Anodenkammer, besonders geeignet ist, für die Gewinnung von gasförmigem Kohlendioxid in reinster Form.

Zur Ausführung einer elektrophoretischen Separation von gelöstem Kohlendioxid und dessen Derivaten aus der Akzeptorlösung, ist anodenseitig die Akzeptorkammer durch ein elektrisch leitendes Medium mit der Aufnahme- und Freisetzungskammer zu verbinden, in der vorzugsweise die transportierten Verbindungen aufgenommen werden und/oder hier eine Freisetzung oder Umsetzung dieser erfolgen kann. Das in der Aufnahme- und Freisetzungskammer vorliegende Medium ist vorzugsweise eine wässrige Lösung und wird in der Folge **Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium** genannt.

Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- 5 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
- c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivaten in der
10 Akzeptorlösung aus Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium,
 wobei sich die Akzeptorlösung aus Schritt b) in einer Akzeptorkammer einer Elektrodialyse-Vorrichtung befindet oder in diese eingeleitet wird; und
 das Transportieren des Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivaten gemäß Schritt c) mittels
15 eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer hergestellt wird, erfolgt,
 wobei die Akzeptorkammer und die Aufnahme- und Freisetzungskammer durch die Trennmembran voneinander separiert werden.

- 20 Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- 25 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
- c) Transportieren von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen aus der Akzeptorlösung aus Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium,
 wobei sich die Akzeptorlösung aus Schritt b) in einer Akzeptorkammer einer Elektrodialyse-
30 Vorrichtung befindet oder in diese eingeleitet wird; und
 das Transportieren der Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen gemäß Schritt c) mittels eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer hergestellt wird, erfolgt,
 wobei die Akzeptorkammer und die Aufnahme- und Freisetzungskammer durch die
35 Trennmembran voneinander separiert werden.

- Wenn bei einer solchen Anordnung in der Aufnahme- und Freisetzungskammer Leitungswasser als Aufnahme- und Freisetzungs-Medium verwendet wird, kommt es in der Aufnahme- und Freisetzungskammer an der Membran, die diese Kammer von der Akzeptorkammer trennt, zur Ausbildung von Gasblasen, die aus Kohlendioxid bestehen. Die Ausbildung von Gasblasen, die
40 flächig die Membran zwischen der Akzeptorkammer und der Aufnahme- und Freisetzungskammer belegen, hat sich als sehr nachteilig dargestellt, da in diesen Bereichen durch die Gasschicht eine elektrische Isolation erfolgt und dadurch die Effizienz des Verfahrens erheblich eingeschränkt wird. Ferner ist die Verwendung eines wässrigen Mediums, das Elektrolyte enthält nachteilig, da es zur Ausbildung von Feststoffen, z.B. in Form von Natrium- und/oder Calciumcarbonat kommen kann.
- 45 Insbesondere sind Elektrolyte von Nachteil die praktisch wasser-unlösliche Carbonate ergeben, wie beispielsweise Calciumcarbonat. Gleichwohl ist es für die Ausführung eines elektrophoretischen Verfahrens erforderlich, dass das Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine hohe elektrische Leitfähigkeit aufweist. Ferner sollte die Verbindung, die in dem Aufnahme- und

Freisetzungsmedium die elektrische Leitfähigkeit herstellt, im angelegten elektrischen Gleichspannungsfeld selbst nicht elektrophoretisch transportiert werden. Überraschenderweise wurde gefunden, dass organische und anorganische Säuren geeignet sind, um die vorgenannten Anforderungen zu gewährleisten.

- 5 Überraschenderweise wurde gefunden, dass wasserlösliche organische Verbindungen, die eine oder mehrere Säuregruppen tragen, besonders geeignet sind, um gelöste(s) Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen, welches/welche durch eine Separationsmembran in die Kammer, enthaltend das Aufnahme- und/oder Freisetzungs-Medium, eintreten, in einen gasförmigen Zustand zu überführen, bzw. zu entmischen. Dabei ist es
10 besonders vorteilhaft, wenn diese organische Verbindung im elektrischen Feld nicht transportiert wird und/oder aufgrund ihrer Molekulargröße die Kammer enthaltend das Aufnahme- und/oder Freisetzungs-medium nicht durch die Separationsmembran verlassen kann.

15 Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus
20 Schritt a); und
- c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivaten aus der Akzeptorlösung aus Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium,
wobei das wässrige Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine organische oder
25 anorganische Säure enthält.

Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- 30 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
- c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivaten aus der
35 Akzeptorlösung aus Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium,
wobei das wässrige Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine organische oder anorganische Säure enthält und einen pH-Wert im Bereich zwischen 1 und 7, weiter bevorzugt zwischen 2 und 6 und weiter bevorzugt zwischen 3 und 5 aufweist.

40 Eine weiter bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- 45 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
- c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivaten aus der

Akzeptorlösung aus Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium,

wobei das wässrige Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine organische Säure enthält und bevorzugt einen pH-Wert im Bereich zwischen 1 und 7, weiter bevorzugt zwischen 2 und 6 und weiter bevorzugt zwischen 3 und 5 aufweist. Bevorzugt ist die organische Säure eine Verbindung, die mindestens eine Säuregruppe trägt und einen isoelektrischen Punkt im pH-Bereich zwischen 3 und 5 aufweist, bevorzugt zwischen 3,5 und 4,5. In bevorzugten Ausführungsformen wird die organische Säure bevorzugt ausgewählt auf der Gruppe umfassend oder bestehend aus Zitronensäure, Weinsäure und Ascorbinsäure. In besonders bevorzugten Ausführungsformen ist organische Säure Zitronensäure. In besonders bevorzugten Ausführungsformen enthält das wässrige Aufnahme- und Freisetzungsmedium Zitronensäure.

In weiteren bevorzugten Ausführungsformen, enthält das wässrige Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine organische Säure, wobei die organische Säure eine saure Aminosäure ist, die an der Seitenkette eine Carbonsäuregruppe (-COOH) aufweist. Hierin bevorzugt sind auch Ausführungsformen, wobei das wässrige Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine organische Säure enthält, wobei die organische Säure eine säuregruppen-tragende Aminosäure ist. Hierin bevorzugt sind auch Ausführungsformen, wobei das wässrige Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine organische Säure enthält, wobei die organische Säure ausgewählt wird aus der Gruppe umfassend oder bestehend aus Asparaginsäure und Glutaminsäure. Hierin bevorzugt sind auch Ausführungsformen, wobei das wässrige Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine organische Säure enthält, wobei die organische Säure ausgewählt wird aus der Gruppe umfassend oder bestehend aus Zitronensäure, Weinsäure und Ascorbinsäure. Besonders bevorzugt ist die Weinsäure. Hierin bevorzugt sind auch Ausführungsformen, wobei das wässrige Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine anorganische Säure enthält, wobei die anorganische Säure bevorzugt ausgewählt wird aus der Gruppe umfassend oder bestehend aus Schwefelsäure oder Diphosphorsäure.

Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung aus Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend Zitronensäure,

wobei sich die Akzeptorlösung aus Schritt b) in einer Akzeptorkammer einer Elektrodialyse-Vorrichtung befindet oder in diese eingeleitet wird; und

das Transportieren des Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivaten gemäß Schritt c) mittels eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer hergestellt wird, erfolgt,

wobei die Akzeptorkammer und die Aufnahme- und Freisetzungskammer durch die Trennmembran voneinander separiert werden.

Es wurde gefunden, dass säuregruppen-tragende Aminosäuren diese Bedingung besonders gut erfüllen und daher besonders bevorzugt sind. Vorzugsweise stellt sich der pH des Aufnahme- und/oder Freisetzungs-Mediums durch die Dissoziation der gelösten Aminosäuren selbst ein. Aminosäuren weisen am isoelektrischen Punkt keine elektrophoretische Mobilität auf. Daher ist es

- besonders vorteilhaft, wenn in dem Akzeptormedium und dem Aufnahme- und/oder Freisetzungs-Medium jeweils wässrig gelöste Aminosäuren an ihrem isoelektrischen Punkt vorliegen. Hieraus ergibt sich der besonders vorteilhafte Effekt, dass die Verbindungen, die für die Lösung, den Transport einerseits und für die Entmischung/Entgasung von Kohlendioxid/Hydrogencarbonat-Anionen andererseits verantwortlich sind, bzw. bewirken, sich nicht durchmischen oder verbraucht werden, da sie in den jeweiligen Lösungen verbleiben. Es konnte gezeigt werden, dass die elektrophoretische Separation von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen sowie ein diffusionsbedingter Transport von gelöstem Kohlendioxid durch eine offenporige mesoporöse Membran, z.B. in Form einer keramischen Filterplatte, möglich sind. Dabei verändert sich der pH der Akzeptorlösung und des Aufnahme- und Freisetzungsmediums auch nicht während einer Elektrophorese und es findet eine Freisetzung von Kohlendioxid in der Aufnahme- und Freisetzungskammer statt, wobei es während der Elektrophorese zu keinem Spannungsabfall durch eine Gasblasenbildung und Anhaftung an der Trennmembranen kam. Insofern erfüllt das erfindungsgemäße Aufnahmemedium die Bedingung, dass in dem Medium eine Aufnahme und Bindung von Kohlendioxid bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen erfolgt und das aufgenommene/gebundene Kohlendioxid bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen von dem Separationsmedium entfernt und transportiert werden kann, sodass die Freisetzung von Kohlendioxid räumlich entfernt zum Separationsmedium bzw. der Aufnahme- und Freisetzungskammer erfolgen kann.
- Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine Lösung, der elektrophoretische Transport sowie die Entmischung/Entgasung von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen dadurch erfolgt, indem in einem wässrigen Akzeptormedium basische Aminosäuren und in einem wässrigen Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium säuregruppen-tragende Aminosäuren an ihrem isoelektrischen Punkt vorliegen.
- Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein Gas oder gasförmige Verbindungen sowie deren Derivate in einem wässrigen Akzeptormedium gebunden werden und mittels eines elektrophoretischen Verfahrens das Gas/die gasförmige Verbindung oder deren Derivate in Wasser durch ein Trennmedium (Trennmembran) transportiert werden und hierdurch in ein Aufnahme- und Freisetzungsmedium gelangen.
- Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein Gas oder gasförmige Verbindungen sowie deren Derivate in einem wässrigen Akzeptormedium gebunden werden und mittels eines elektrophoretischen Verfahrens das Gas/gasförmige Verbindung oder deren Derivate in Wasser durch ein Trennmedium transportiert werden und hierdurch in ein Aufnahme- und Freisetzungsmedium gelangen, worin sie als Gasphase freigesetzt und/oder chemisch umgesetzt werden.
- Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem in der Aufnahme- und Freisetzungskammer eine Freisetzung des/der durch das Trennmedium (Trennmembranmembran) transportierten Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivate in Form eines reinen Kohlendioxid-Gases erfolgt. Die bevorzugten basischen Aminosäuren sind Arginin und Lysin. Die bevorzugten säuregruppen-tragenden Aminosäuren sind Asparaginsäure und Glutaminsäure.
- Es wurde gefunden, dass wenn eine Säure als Aufnahme- und Freisetzungs-Medium verwandt wurde, die einen pKs von > 3 aufwies, das/die elektrophoretisch hierin transportierte(n) Kohlendioxid, bzw. die Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen nicht oder nur zu einem geringen Anteil bereits an der Membran oder innerhalb der Aufnahme- Freisetzungskammer als gasförmiges Kohlendioxid freigesetzt wurde(n). Es wurde gefunden, dass in diesem Fall eine sehr vollständige Freisetzung des in dem Aufnahme- und Freisetzungs-Medium gelösten/gebundenen Kohlendioxid, bzw. der Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen, außerhalb der Aufnahme und Freisetzungskammer erreicht werden kann, indem in einen Auffanggefäß das Aufnahme und Freisetzungs-Medium über vorzugsweise hydrophobe Oberflächen geleitet wurde. Es wurde

gefunden, dass durch eine Vorrichtungsanordnung, bei der in der Aufnahme- und Freisetzungskammer eine hohe Überströmungsrate des Trennmediums (Trennmembran) mit dem Aufnahme- und Freisetzungs-Medium, insbesondere durch Verwendung von wabenartigen Spacern, die einen turbulenten Fluss in der Aufnahme- und Freisetzungskammer bedingen, eingerichtet wird und dieses in eine **Freisetzungsvorrichtung** geleitet wird, in der das Aufnahme- und Freisetzungs-Medium in Kontakt gebracht wird mit Oberflächen, an denen eine Entmischung von Kohlendioxid erfolgt oder in der eine Entmischung von Kohlendioxid durch eine Anlage eines Unterdruck bewerkstelligt wird, die Freisetzung von Kohlendioxid als Gas praktisch ausschließlich in der Freisetzungsvorrichtung und nicht oder nur zu einem sehr geringen Anteil in der Aufnahme- und Freisetzungskammer erfolgt. Daher erfolgt in einer bevorzugten Verfahrensausführung die Freisetzung von Kohlendioxid als Gas aus dem Aufnahme- und Freisetzungs-Medium in einer Freisetzungsvorrichtung, in die das Aufnahme- und Freisetzungs-Medium aus einer Aufnahme- und Freisetzungskammer eingeleitet wird (vgl. **Figur 1**). Bevorzugt ist die Bereitstellung von Grenzflächen in einer Freisetzungsvorrichtung zur Abscheidung von Kohlendioxid. Bevorzugt sind hydrophobe Grenzflächen.

Geeignete Vorrichtungen zur Erhöhung von Grenzflächen sich beispielsweise Füllkörper.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem, nach Aufnahme von Kohlendioxid/Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen in ein Aufnahme- und Freisetzungsmedium in einer Aufnahme- und Freisetzungskammer, dieses in eine Freisetzungsvorrichtung eingeleitet wird und hierin Kohlendioxid als Gas freigesetzt wird.

Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung aus Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend,

wobei sich die Akzeptorlösung aus Schritt b) in einer Akzeptorkammer einer Elektrodialyse-Vorrichtung befindet oder in diese eingeleitet wird; und

das Transportieren des Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivate gemäß Schritt c) mittels eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer hergestellt wird, erfolgt,

wobei die Akzeptorkammer und die Aufnahme- und Freisetzungskammer durch die Trennmembran voneinander separiert werden;

wobei das Verfahren nach Schritt c) den Schritt c3) umfasst:

c3) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c) in einer Freisetzungskammer.

In bevorzugten Ausführungsformen wird Kohlendioxid als Gasphase durch Anlegen einer Gleichspannung in das Aufnahme- und Freisetzungsmedium aus Schritt c3) freigesetzt.

Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

5 c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung aus Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend,

wobei sich die Akzeptorlösung aus Schritt b) in einer Akzeptorkammer einer Elektrodialyse-Vorrichtung befindet oder in diese eingeleitet wird; und

10 das Transportieren des Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivaten gemäß Schritt c) mittels eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer hergestellt wird, erfolgt,

wobei die Akzeptorkammer und die Aufnahme- und Freisetzungskammer durch die Trennmembran voneinander separiert werden;

15 wobei das Verfahren nach Schritt c) den Schritt c3') umfasst:

c3') Einleiten des wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten aus Schritt c) in eine Freisetzungsvorrichtung.

In bevorzugten Ausführungsformen umfasst das Verfahren den Schritt c3) nach Schritt c3'):

20 c3) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c3') in der Freisetzungskammer.

25 Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

30 c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung aus Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend,

wobei sich die Akzeptorlösung aus Schritt b) in einer Akzeptorkammer einer Elektrodialyse-Vorrichtung befindet oder in diese eingeleitet wird; und

35 das Transportieren des Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivaten gemäß Schritt c) mittels eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer hergestellt wird, erfolgt,

wobei die Akzeptorkammer und die Aufnahme- und Freisetzungskammer durch die Trennmembran voneinander separiert werden;

40 wobei das Verfahren nach Schritt c) die Schritte c3') und c3) umfasst:

c3') Einleiten des wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten aus Schritt c) in eine Freisetzungsvorrichtung; und

45 c3) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxids/der Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c3') in der Freisetzungskammer.

Es wurde weiterhin gefunden, dass das in der Freisetzungskammer/Freisetzungsanordnung bzw. aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium freigesetzte Gas ausschließlich oder fast

ausschließlich aus Kohlendioxid besteht. Es konnte dokumentiert werden, dass es bei der erfindungsgemäßen Verfahrensausführung mit einer Freisetzung von Kohlendioxid als Gasphase in einer Freisetzungsvorrichtung zu keiner Erhöhung des elektrischen Widerstands während des elektrophoretischen Transports von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen innerhalb der Elektrodialyse-Vorrichtung durch eine Gasabscheidung an der Separationsmembran oder eine Gasblasenbildung innerhalb der Aufnahme- und Freisetzungskammer kommt.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Gewinnung und Erhalt eines Kohlendioxid-Reingases.

Ein Reingas hat einen Gehalt an Verunreinigungen durch andere Verbindungen von $< 0,5\text{Vol}\%$.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart des Verfahrens werden ionische Flüssigkeiten als Freisetzungsmedium verwandt. Ionische Flüssigkeiten sind insbesondere deshalb vorteilhaft, da sie in der Regel nicht wasserlöslich sind und kein elektronenoptischer Transport der anionischen und kationischen Verbindungen, aus denen sich die ionischen Flüssigkeit zusammensetzt, erfolgt. Daher ist eine Anwendung von ionischen Flüssigkeiten als Freisetzungsmedium in Verbindung mit einer offenporigen Membran, die die Akzeptor-Kammer von der Aufnahme- und Freisetzungskammer trennt, eine besonders bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein Gas oder gasförmige Verbindungen sowie deren Derivate in einem wässrigen Akzeptormedium gebunden werden und mittels eines elektrophoretischen Verfahrens das Gas/die gasförmige Verbindung oder deren Derivate in Wasser durch ein Trennmedium (Trennmembran) transportiert werden und hierdurch in ein Aufnahme- und Freisetzungsmedium gelangen, wobei das Aufnahme- und Freisetzungsmedium eine ionische Flüssigkeit ist.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein Gas oder gasförmige Verbindungen sowie deren Derivate in einem wässrigen Akzeptormedium gebunden werden und mittels eines elektrophoretischen Verfahrens das Gas/gasförmige Verbindung oder deren Derivate in Wasser durch ein Trennmedium (Trennmembran) transportiert werden und hierdurch in ein Aufnahme- und Freisetzungsmedium das eine ionische Flüssigkeit ist gelangen, worin sie chemisch umgesetzt werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Separation von Kohlendioxid aus einem Gas/Gasgemisch semikontinuierlich oder kontinuierlich. Bevorzugt ist hierzu eine Vorrichtung, bei der eine Lösung/Dissoziation von Kohlendioxid in einer der erfindungsgemäßen wässrigen Akzeptorlösung erfolgt und gleichzeitig eine Separation des gelösten Kohlendioxids bzw. der Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen aus der Akzeptorlösung stattfindet. Die selektive Separation des/der gebundenen Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen erfolgt vorzugsweise durch einen Transport durch ein Trennmedium (Trennmembran). Dabei ist die Verwendung von Membranen als Trennmedium zur Separation von gelöstem Kohlendioxid bzw. Carbonat-Hydrogencarbonat-Anionen bevorzugt. Eine elektrophoretische Separation ist bevorzugt. Zu diesem Zweck ist die Verwendung einer Elektro-Dialyseeinheit besonders bevorzugt. In einer Ausführungsform erfolgt in den Kammern, enthaltend die Akzeptorlösung, eine Begasung mit einem kohlendioxid-haltigen Gas/Gasgemisch. Das aus dieser Kammer austretende kohlendioxid-reduzierte Gas/Gasgemisch wird sodann in die nächste Kammer enthaltend die Akzeptorlösung geleitet. Diese Anordnung kann beliebig oft hintereinander ausgeführt werden. Dabei kann die Begasung sowohl in den Kammern, enthaltend die Akzeptorlösung der jeweiligen Dialysezelle, stattfinden, als auch in einen Behälter außerhalb hiervon erfolgen, wobei eine Zirkulation zwischen dem Behälter und der jeweiligen Kammer der Dialyseeinheit eingerichtet wird. Bevorzugt ist eine möglichst feine Verteilung des Gases/Gasgemisches in dem Akzeptormedium. Hierzu können Techniken aus dem Stand der Technik verwandt werden. Mit einer solchen Verfahrensanordnung kann eine Gas-Waschkolonne eingerichtet werden, sodass der Kohlendioxid-enthaltende Gasstrom mehrfach sequentiell mit dem Akzeptor-Medium in Kontakt

gebracht wird.

Es konnte dokumentiert werden, dass nach einer Separation von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen aus einem mit Kohlendioxid gesättigten Akzeptor-Medium, dieses erneut verwandt werden kann, um Kohlendioxid zu Lösen, Binden und zu transportieren. In
5 besonders vorteilhafter Weise kann hierdurch eine Kreislaufführung des Akzeptor-Mediums ermöglicht werden, mit dem kontinuierlich oder semikontinuierlich eine Aufnahme, Transport und Separation von Kohlendioxid verlustfrei erfolgt und das Akzeptormedium beliebig oft für eine erneute Verfahrensdurchführung zur Verfügung steht.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine verlustfreie Wiederverwendung eines Akzeptormediums,
10 im Anschluss an eine Separation von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen aus diesem Medium, erfolgt, um hierin erneut Kohlendioxid zu lösen und zu binden.

Es konnte gezeigt werden, dass sich gasförmiges Kohlendioxid vollständig in wässrigen Lösungen von Guanidino-/Amidinogruppen tragenden Verbindungen einbringen und hierin binden lässt, sofern nicht protonierte freie Guanidino-/Amidinogruppen der gelösten Akzeptorverbindung
15 vorliegen. Dabei ist es unerheblich in welchem Verhältnis das Kohlendioxid zu anderen gasförmigen Verbindungen/Elementen vorliegt oder ob es sich um einen reinen Kohlendioxid-Gasstrom handelt. Unter dieser Bedingung erfolgt in Abhängigkeit von der Kontaktzeit und der erreichten Grenzfläche zwischen dem wässrigen Akzeptormedium und dem Gas/Gasgemisch eine vollständige (< 1ppm) oder fast vollständig (<= 100ppm) Entfernung von Kohlendioxid aus dem
20 Gas/Gasgemisch.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Entfernung von Kohlendioxid aus Gas oder Gasgemischen.

Somit kann erstmalig ein Verfahren bereitgestellt werden, mit dem eine vollständige oder fast vollständige Entfernung von Kohlendioxid aus einem Gas oder Gasgemisch durch eine in Kontaktbringung mit einem wässrigen Akzeptormedium bei einem atmosphärischen Druck
25 ermöglicht wird und bei dem subsequent selektiv gasförmiges Kohlendioxid in reinsten oder reiner Form wieder erhältlich gemacht werden kann. Reinst bedeutet in diesem Zusammenhang ein Kohlendioxid-Gehalt von >99,5 Vol% und rein einen Kohlendioxid-Gehalt von > 98,5 Vol%.

Insofern ist das Verfahren auch gerichtet auf die selektive Separation und Gewinnung sowie Herstellung von reinem Kohlendioxid.

30 Bevorzugt ist ein Verfahren zur selektiven Separation, Gewinnung und Herstellung von Kohlendioxid das rein oder reinst ist.

Es wurde festgestellt, dass wenn in einem Gas/Gasgemisch mehrere gasförmige Verbindungen enthalten sind, die eine Säure in Wasser bilden, diese in dem Akzeptor-Medium aufgenommen werden und somit die Separationseffizienz beeinflussen können, wenn nur eine der gasförmigen
35 Verbindungen gewonnen werden soll. Dies kann insbesondere bei Gasen, die bei einer Fermentierung von organischem Material entstehen oder sogenannten „Sauern Erdgasen“ sowie bei Rauch- oder Faulgasen der Fall sein. Ferner können Rauchgase Feststoffe enthalten, die zu einer Versottung der Akzeptorlösung führen können. In einer bevorzugten Ausführungsart des Verfahrens wird vor der in Kontaktbringung eines Gases/Gasgemisches mit dem Akzeptor-Medium eine Abtrennung von sämtlichen Feststoffpartikeln/Flüssigkeiten sowie gasförmigen Verbindungen,
40 die in einem wässrigen Medium löslich sind oder hierin wasserlösliche Reaktionsprodukte bilden, vorgenommen. Dies ist mit Verfahren aus dem Stand der Technik möglich.

Daher ist eine Vorreinigung eines Gasstroms, bei dem Kohlendioxid gebunden oder gebunden und gewonnen werden soll, bevorzugt.

45 Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem vor einer in Kontaktbringung des Gases/Gasgemischs, enthaltend Kohlendioxid mit einem Akzeptor-Medium, eine Separation/Adsorption von flüssigen und soliden Bestandteilen sowie von Gasanteilen, die nicht Kohlendioxid entsprechen und die sich in Wasser lösen oder bei Kontakt mit Wasser wasserlösliche Reaktionsprodukte ausbilden, erfolgt.

Somit kann ein Verfahren zur Adsorption, Transport sowie selektiven Freisetzung von Kohlendioxid bereitgestellt werden, bei dem keine korrosiven oder gesundheitsgefährdenden Verbindungen eingesetzt werden und bei dem das wässrige Akzeptor-Medium nach der Separation des hierin gebundenen Kohlendioxid vollständig rezirkuliert und zur erneuten Absorption von Kohlendioxid eingesetzt werden kann.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein wässriges Akzeptor-Medium zur Absorption, Transport sowie selektiven Freisetzung von Kohlendioxid bereitgestellt wird, bei dem keine korrosiven oder gesundheitsgefährdenden Verbindungen eingesetzt werden und bei dem das wässrige Akzeptormedium nach der Separation des hierin gebundenen Kohlendioxid vollständig rezirkuliert und zur erneuten Adsorption von Kohlendioxid eingesetzt werden kann.

Bevorzugt ist ein Verfahren, zur reversiblen Bindung von gasförmigen Verbindungen an eine in Wasser gelöste Akzeptorverbindung in einem wässrigen Akzeptormedium.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die reversible Bindung zwischen einer gasförmigen Verbindung und einer wasserlöslichen Akzeptorverbindung, die in einem wässrigen Akzeptormedium vorliegt, über ein Reaktionsprodukt der gasförmigen Verbindung mit Wasser erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Reaktionsprodukt einer gasförmigen Verbindung mit der Wasserphase eines wässrigen Akzeptormediums durch eine gelöste Akzeptorverbindung reversibel gebunden wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem gasförmige Verbindungen in einem wässrigen Akzeptor-Medium durch eine Akzeptorverbindung gebunden werden und bei dem die gebundenen gasförmigen Verbindungen wieder als Gas freigesetzt werden kann durch, eine Änderung des pH der Akzeptorlösung, eine Verdrängung der gasförmigen Verbindung durch einen Zusatz von anionischen Verbindungen oder durch eine elektrophoretische Separation.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem gasförmige Verbindungen in einem wässrigen Akzeptor-Medium gebunden werden und in der Folge die gasförmige Verbindung wieder freigesetzt wird, wobei die Akzeptorverbindung regeneriert wird und anschließend das Akzeptor-Medium für die erneute Bindung einer gasförmigen Verbindung bereit gestellt wird.

Es wurde gefunden, dass sich durch das erfindungsgemäße Verfahren zur Absorption, Transport sowie selektiven Freisetzung von Kohlendioxid weitere Verfahrens-Ausführungsarten verwirklichen lassen.

Es wurde gefunden, dass bei dem Vorgang der Lösung von Kohlendioxid in einem wässrigen Akzeptormedium Wasserstoff freigesetzt wird. Dabei können zwischen 0,5 und 2 Mol Wasserstoff pro Mol Kohlendioxid, das in dem Akzeptor-Medium gebunden wird, entstehen. Der Wasserstoff gelangt dabei als Gas in das Gas/Gasgemisch, das nach der in Kontaktbringung mit dem Akzeptor-Medium entweicht. Wasserstoff ist ein begehrter Rohstoff, daher erfolgt in einer bevorzugten Verfahrensausführung eine Gewinnung der im Rahmen der erfindungsgemäßen Verfahrensausführungen erhältlichen Wasserstoffmengen. In einer bevorzugten Ausführungsart des Verfahrens erfolgt eine Adsorption von Wasserstoff, der während der Verfahrensausführung entsteht. Verfahren und Vorrichtungen zur Adsorption und Separation von Wasserstoff sind im Stand der Technik bekannt. So kann beispielsweise das Gas/Gasgemisch, das nach der in Kontaktbringung mit dem Akzeptor-Medium aufgefangen wird durch eine Medium geleitet, das geeignet ist, um Wasserstoff hierin zu binden und/oder abzuscheiden und direkt oder in einem Sekundärkreislauf gewinnen und/oder umsetzen zu können. Insofern ist das Verfahren auch gerichtet auf die Herstellung und Gewinnung von Wasserstoff.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem durch eine in Kontaktbringung eine Gases/Gasgemisches, enthaltend Kohlendioxid, mit einem Akzeptormedium Wasserstoff entsteht und der entstandene Wasserstoff adsorbiert und/oder separiert und gewonnen wird. Bevorzugt ist ein Verfahren zur

Herstellung und Gewinnung von Wasserstoff, bei dem ein Gas/Gasgemisch mit einem Akzeptormedium in Kontakt gebracht wird. Bevorzugt sind Akzeptormedien zur Herstellung und Gewinnung von Wasserstoff.

Überraschenderweise wurde gefunden, dass durch Anwesenheit oder durch die Zugabe von kationischen Verbindungen in/zu einem erfindungsgemäßen wässrigen Akzeptor-Medium, in welchem Kohlendioxid aufgenommen wird oder in dem Kohlendioxid bereits gebunden vorliegt, es spontan zur Ausbildung von Carbonaten kommt. So wurde gefunden, dass bei Anwesenheit von Natrium- oder Calciumionen in dem wässrigen Akzeptormedium, es bei der in Kontaktbringung mit einem Gas welches wasserlösliche gasförmige Verbindungen enthält, zur Ausbildung von Feststoffen kommt. Es wurde gefunden, dass, wenn es sich bei der wasserlöslichen gasförmigen Verbindung um Kohlendioxid handelt, Natrium- bzw. Calciumcarbonat entsteht.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem gasförmige Verbindungen in einem Akzeptor-Medium gebunden werden und hierin mit einer oder mehreren Verbindungen in Kontakt gebracht werden, wobei eine physiko-chemische oder chemische Reaktion zwischen der an die Akzeptorverbindung gebundenen gasförmigen Verbindung oder der anionischen Form der gasförmigen Verbindung und der mindestens einen weiteren Verbindung erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem gasförmige Verbindungen in einem Akzeptormedium durch eine Akzeptorverbindung gebunden werden, die eine Reaktion zwischen der gebundenen gasförmigen Verbindung bzw. der anionischen Form der gasförmigen Verbindung mit einer oder mehreren anderen Verbindungen ermöglicht und/oder katalysiert.

Es wurde dann gefunden, dass sich Salze von Alkali- und Erdalkalimetallen sehr leicht in einem erfindungsgemäßen wässrigen Akzeptormedium lösen lassen. Überraschenderweise kam es dabei zu keiner oder einer, im Vergleich zu einem Lösungsvorgang in Wasser, sehr geringen exothermen Reaktion. Dies trifft insbesondere auf das Lösen von Calcium-, Eisen- und Aluminium Salzen, wie Calcium-, Eisen- oder Aluminiumchlorid zu. Überraschenderweise ergeben sich hieraus weitere besonders vorteilhafte Möglichkeiten bei der Herstellung von Carbonaten und Hydrogencarbonaten.

Bei der Einleitung einer erfindungsgemäßen Akzeptorlösung, in der beispielsweise Aluminium- oder Eisenchlorid gelöst war, in eine Akzeptorlösung die gesättigt war mit Kohlendioxid, kam es zur Entstehung von feinsten weißen bzw. hellbraunen Feststoffpartikeln, die unter Agitation als Suspension vorlagen und nach Beendigung der Agitation sedimentierten. Es konnte dokumentiert werden, dass es sich bei den Feststoffen um Aluminium- bzw. Eisencarbonat handelte. Überraschenderweise kam es bei einem Einmischen der Akzeptorlösung, enthaltend das gelöste Salz, in eine Akzeptorlösung, die mit Kohlendioxid gesättigt war, zu keiner oder nur einer minimalen Freisetzung von Kohlendioxid in gasförmiger Form unter atmosphärischen Bedingungen. Somit kann ein Verfahren bereitgestellt werden, mit dem ein praktisch vollständiger oder vollständiger chemischer Umsatz von in einem Akzeptor-Medium gebundenem Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen unter Normaldruckbedingungen sowie Raumtemperatur ermöglicht wird.

Somit kann in sehr vorteilhafter Weise eine Verbindung (**Reaktionsverbindung**) mit der ein chemischer Umsatz mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen erfolgen soll, in einem Akzeptor-Medium, enthaltend mindestens eine Akzeptor-Verbindung, einfach, schnell und ohne eine exotherme Reaktion in dem wässrigen Medium zu verursachen, vollständig gelöst und mit Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in Kontakt gebracht werden, ohne eine Freisetzung von Kohlendioxid. Es wurde gefunden, dass sich diese vorteilhaften Effekte auch ergeben, wenn eine Reaktionsverbindung in gleicher Art in einem Aufnahme- und Freisetzungs-Medium oder einem Reaktionsmedium zum chemischen Umsatz bereitgestellt wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem mindestens eine Reaktionsverbindung mit einer Akzeptorverbindung zusammen in Lösung gebracht wird und die hierin gelöste oder gelösten Reaktionsverbindung(en) mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen in Kontakt gebracht wird/werden, um sie mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen chemisch umzusetzen.

Es wurde weiterhin gefunden, dass wenn eine Akzeptorlösung in der bereits Kationen/kationische Verbindungen, die Carbonate und/oder Hydrocarbonate bilden können in gelöster Form vorliegen, mit einem Gas/Gasgemisch in Kontakt gebracht werden welches Kohlendioxid enthält, im Verlauf der Begasung Carbonate und/oder Hydrogencarbonate entstehen und ausfallen.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem gasförmige Verbindungen in einem wässrigen Akzeptormedium chemisch dadurch umgesetzt werden können, indem sie in Form des Reaktionsproduktes mit Wasser an eine gelöste Akzeptorverbindung gebunden werden und in dieser Form mit anderen Verbindungen in Kontakt gebracht werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem durch die in dem wässrigen Akzeptormedium gelöste Akzeptorverbindung mindestens eine wasserlösliche anorganische oder organische Verbindung gelöst wird oder eine Lösungsvermittlung erreicht wird, sodass die mindestens eine Verbindung in dem Akzeptormedium teilweise oder vollständig gelöst vorliegt und das Akzeptormedium gleichzeitig oder anschließend an die Lösung der mindestens einen Verbindung mit mindestens einer gasförmigen Verbindung in Kontakt gebracht wird, wobei es zu einer physiko-chemischen oder chemischen Reaktion zwischen der mindestens einen gasförmigen und der mindestens einen in dem Akzeptormedium gelösten Verbindung kommt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart des Verfahrens erfolgt die Einbringung von Kationen/kationischen Verbindungen, die Carbonate bzw. Hydrogencarbonate bilden können, indem diese mittels eines elektrophoretischen Verfahrens selektiv in die Akzeptorlösung eingebracht werden. Dies erfolgt vorzugsweise in einer Verfahrensanordnung in der eine Elektrolytlösung, in der das oder die zur Carbonat-, bzw. Hydrogencarbonatherstellung geeigneten Kationen/kationischen Verbindungen gelöst vorliegen, in einer Elektrodialyse-Vorrichtung in eine Elektrolyt-Kammer eingebracht werden, die anstatt einer Aufnahme- und Freisetzungskammer mit einer der Akzeptor-Kammer, enthaltend die Akzeptorlösung, verbunden wird, wobei sich zwischen der Elektrolyt-Kammer und der Akzeptor-Kammer eine kationenselektive Membran befindet, durch die die Kammern miteinander elektrisch gekoppelt sind. Durch das Anlegen einer Gleichspannung zwischen der Anoden- und Kathodenkammer erfolgt ein elektrophoretischer Transport von Kationen/kationischen Verbindungen aus der Elektrolyt-Kammer in die Akzeptorkammer. Wahlweise kann in der Akzeptorkammer eine Akzeptorlösung vorliegen, die bereits mit Kohlendioxid gesättigt ist oder während des Dialyseprozesses mit Kohlendioxid kontinuierlich beaufschlagt wird. Wie im Folgenden mehr detailliert offenbart, ist ein chemischer Umsatz von Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat auch mit anderen Verbindungen möglich. Verbindungen, die mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat reagieren oder umgesetzt werden können, indem sie sich in einem Akzeptormedium befinden oder in diese transportiert werden oder der Umsatz außerhalb des Akzeptormediums mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen, das/die mittels eines Akzeptor-Mediums gelöst und transportiert wurde(n), werden im Folgenden als **Reaktionsverbindungen** bezeichnet.

Somit konnte ein **Umsatzverfahren** dargestellt werden, mit dem es möglich ist, Reaktionsverbindungen mit Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen in Kontakt zu bringen und diese miteinander chemisch umzusetzen. Wie im Folgenden weiter beschrieben, lässt sich das Umsatzverfahren in verschiedenen Ausführungsformen gestalten und mit verschiedenen Reaktionsverbindungen durchführen.

Es wurde weiter gefunden, dass aufgrund der verbesserten Löslichkeit durch die Basizität des

Akzeptormediums, Lösungen mit deutlich höheren Konzentrationen insbesondere von Salzen der Reaktionsverbindungen (aber auch mit nicht salzförmigen Verbindungen) hergestellt werden können, als dies in reinem Wasser möglich ist. Bei Versuchen zur Begasung einer Akzeptorlösung enthaltend gelöste Natrium, Calcium- oder Aluminiumsalze mit einem reinen Gas bestehend aus Kohlendioxid oder einem Gasgemisch enthaltend Kohlendioxid, wurde gefunden, dass sich sehr rasch eine milchige Suspension bildet. Der entstandene Feststoff sedimentiert spontan, sodass eine vollständige Phasentrennung durch eine agitationsfreie Absetzphase oder Absetzstrecke erreicht werden kann. Eine Phasentrennung kann aber auch mittels eines zentrifugalen oder filtrativen Separationsverfahrens erreicht werden.

Derartig hergestellte Carbonate bzw. Hydrogencarbonate sind chemisch rein und liegen unmittelbar in Form kleinster Partikel von $< 1\mu\text{m}$ vor oder können mit geringem Energieaufwand zu kleinsten Partikeln verteilt werden.

Als nachteilig stellte sich dabei das Verbleiben der Anionen des gelösten Salzes in der Akzeptorlösung heraus, wie beispielsweise von Chloridionen. Es wurde gefunden, dass es mit verschiedenen Verfahren aus dem Stand der Technik möglich ist, die in die Akzeptorlösung eingetragenen Anionen der hierin gelösten Salze zu binden oder zu separieren. In einer Ausführungsform erfolgt eine Separation der Anionen eines Salzes durch eine Elektrodialyse, die im Anschluss an eine Einbringung eines Salzes oder einer Lösung des Salzes in das wässrige Akzeptormedium erfolgt oder im Anschluss an die in Kontaktbringung des wässrigen Akzeptormediums mit einem Gas/Gasgemisch enthaltend Kohlendioxid.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die in einem Akzeptormedium vorliegende Akzeptorverbindung im Anschluss an die Bindung einer gasförmigen Verbindung bzw. der anionischen Form der gasförmigen Verbindung, wieder regeneriert wird, indem das Akzeptormedium mittels einer Elektrodialyse, einer Kontaktierung mit Ionenaustauschverbindungen oder Adsorptionsmitteln, von anionischen Verbindungen, bis auf Hydroxid-Anionen, bereinigt wird.

Daher ist das Verfahren auch gerichtet auf die Herstellung von chemisch reinen Carbonaten sowie Hydrogencarbonaten, die in Pulver-Form erhältlich werden. Vorzugsweise liegen die Carbonate und Hydrogencarbonate dabei in amorpher Form vor.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem Carbonate und/oder Hydrogencarbonate in chemisch reiner Form erhältlich werden, indem mittels eines wässrigen Akzeptormediums, enthaltend gelöste Guanidino- und/oder Amidinogruppen-tragende Verbindungen, Kohlendioxid, bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen gelöst sowie hierin gebunden werden und mit gelöst vorliegenden Kationen/kationischen Verbindungen, die Carbonate oder Hydrogencarbonate bilden können, in Kontakt gebracht werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem Carbonate sowie Hydrogencarbonate in chemisch reiner Form erhältlich werden, indem mittels eines wässrigen Akzeptor-Mediums, enthaltend gelöste Guanidino- und/oder Amidinogruppen-tragende Verbindungen, Kationen/kationischen Verbindungen, die Carbonate oder Hydrogencarbonate bilden können, gelöst werden und mit Kohlendioxid, bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in Kontakt gebracht werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von Carbonaten sowie Hydrogencarbonaten.

Es wurde gefunden, dass sich derartige Carbonate sowie Hydrogencarbonate herstellen lassen durch eine erfindungsgemäße Absorption und Lösung von Kohlendioxid welches aus einer regenerativen Rohstoffquelle freigesetzt wird, wie beispielsweise bei einer Fermentation zu einem Biogas oder der Verbrennung von Holz. Sofern regenerative Kationen/kationische Verbindungen, die z.B. durch eines der Verfahren zur Regeneration von organischen und anorganischen Verbindungen erhältlich werden, sowie eine regenerative Energie für die Verfahrensdurchführung eingesetzt werden, wird es nunmehr möglich, regenerative Carbonate sowie Hydrogencarbonate

herzustellen.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von regenerativen Carbonaten sowie Hydrogencarbonaten.

Bevorzugt sind regenerative Carbonate und Hydrogencarbonate.

- 5 Somit ist in einem weiteren Aspekt der Erfindung das Verfahren auch darauf gerichtet, Kohlendioxid, bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in einer hohen Konzentration in einem wässrigen Akzeptormedium bereitzustellen und hierin mit anderen Verbindungen chemisch umzusetzen.

- 10 Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem Kohlendioxid, bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in einer hohen Konzentration in einem wässrigen Akzeptormedium bereit gestellt und hierin mit anderen Verbindungen chemisch umgesetzt wird/werden.

Somit ist das Verfahren auch gerichtet auf ein Umsatzverfahren, mit dem Reaktionsprodukte aus einem Umsatz von organischen und/oder anorganischen Verbindungen mit gelösten oder gelösten und transportierten Gasen/gasförmigen Verbindungen und/oder deren Derivate erhältlich werden.

- 15 Bevorzugt ist ein Umsatzverfahren, bei dem organische und/oder anorganische Verbindungen mit gelösten oder gelösten und transportierten Gasen/gasförmigen Verbindungen und/oder deren Derivate in Kontakt gebracht und umgesetzt werden.

- 20 Bevorzugt sind Reaktionsprodukte, erhältlich durch einem Umsatz von organische und/oder anorganische Verbindungen mit einem gelösten oder gelösten und transportierten Gasen/gasförmigen Verbindungen und/oder deren Derivate.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport, Reaktionsaktivierung, Umsatz und/oder Freisetzung von Kohlendioxid.

- 25 Somit wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren, bei dem Kohlendioxid in einem wässrigen Medium, enthaltend gelöste Guanidino- und/oder Amidinogruppen-tragende Verbindungen, gelöst und mit und/oder in diesem gespeichert und/oder transportiert und/oder umgesetzt und/oder freigesetzt wird.

- 30 Wie bereits oben erwähnt wurde überraschenderweise gefunden, dass die Löslichkeit von Kohlendioxid in einem wässrigen Medium, durch hierin gelöste Verbindungen, die freie Guanidino- und/oder Amidinogruppen enthalten, gegenüber reinem Wasser erheblich erhöht wird und dass das Kohlendioxid in der wässrigen Lösung gebunden bleibt. Ferner überraschend war die Beobachtung, dass mit zunehmender Menge an gebundenem Kohlendioxid die Löslichkeit von guanidino- und/oder amidinogruppentragenden Verbindungen erhöht werden kann. So konnte beispielsweise für Arginin, dessen Löslichkeitsgrenze in Wasser bei 0,6 mol/l bei 20°C (beziehungsweise je nach Quelle ca. 150 g/l bei 20°C und 150 g ~ 0,86 mol, M(Arginin) = 174,20 g/mol) liegt, gefunden werden, dass mehr als 3 mol/l (522,6 g/l) gelöst werden können, bzw.
- 35 in Lösung gehen, bei gleichzeitiger Einleitung von Kohlendioxid. Dabei bleibt das wässrige Medium klar und hat einen pH zwischen 10 und 12,5. Es wurde gefunden, dass das Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukte in Wasser, wie Carbonat- und Hydrogencarbonat-Anionen, in einer wässrigen Lösung, enthaltend gelöste guanidino- und/oder amidinogruppentragenden
- 40 Verbindungen, drucklos (bei Atmosphärendruck bzw. Normaldruck) gelöst und hierin gebunden werden, in eine molaren Verhältnis von $\geq 1:1$. Somit lassen sich durch in einem wässrigen Medium mit hierin gelösten Verbindungen die freie Guanidino- und/oder Amidinogruppen enthalten, drucklos (bei Atmosphärendruck bzw. Normaldruck) Kohlendioxid, bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in einer Konzentration von bevorzugt $> 0,5$ mol/l, weiter bevorzugt
- 45 von $> 1,0$ mol/l, weiter bevorzugt von $> 1,5$ mol/l, weiter bevorzugt von $> 2,0$ mol/l, weiter bevorzugt von $> 2,5$ mol/l, weiter bevorzugt von $> 3,0$ mol/l und noch weiter bevorzugt von $> 3,5$ mol/l binden.

In einer bevorzugten Ausführungsart erfolgt die Bereitstellung der wässrigen Lösung zur Aufnahme, Transport, Umsatz, Freisetzung und/oder Speicherung von Kohlendioxid in Form einer

Akzeptorlösung. Die Akzeptorlösung wird vorzugsweise in einer Akzeptorkammer oder Akzeptorvorrichtung bereitgestellt.

Die Akzeptorvorrichtung enthält eine Vorrichtung, die geeignet ist eine möglichst große Austauschfläche zwischen einem Gas/Gasgemisch und dem Akzeptormedium herzustellen und/oder ein Gas/Gasgemisch mit dem Akzeptormedium in Kontakt zu bringen. Hierzu sind Verfahren aus dem Stand der Technik bekannt.

Eine Form stellt dabei eine Gaswaschvorrichtung (siehe auch Figur 1) oder Gaswaschkolonne dar. Bevorzugt ist daher ein Verfahren umfassend den Schritt Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) in einer Gaswaschvorrichtung oder Gaswaschkolonne.

Im Falle eines Gasgemisches welches nicht gasförmige Bestandteile enthält, ist es bevorzugt, das Gasgemisch zunächst von den nicht gasförmigen Anteilen zu befreien, z.B. durch eine Filtration oder eine Waschung des Gases mit einer anderen Flüssigkeit. Verfahren zur Abtrennung von nicht gasförmigen Bestandteilen sind dem Fachmann aus dem Stand der Technik bekannt. In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Gas enthaltend Kohlendioxid vor dem Kontaktieren mit einer erfindungsgemäßen Akzeptorlösung filtriert und/oder gewaschen, um nicht gasförmige Bestandteile zu entfernen. Zur Entfernung von unerwünschten Gasen wie H_2S und NH_3 oder SO_2 und anderen saure Gase als Kohlendioxid können diese aus dem Kohlendioxid-haltigen Gas in einer vorgeschalteten Gaswaschkolonne ausgewaschen werden.

Bevorzugt ist weiterhin ein Gasgemisch zunächst einer Wäsche mittels einer säurehaltigen Lösung vorzunehmen. Überraschenderweise wurde gefunden, dass sich die Kohlendioxidkonzentration eines Gases/Gasgemisches bei einer anschließenden in Kontaktbringung mit einer Akzeptorlösung deutlich schneller reduzieren lässt, als ohne eine vorherige Aktivierung der Gasgemisches durch eine in Kontaktbringung mit einer säurehaltigen Lösung.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; oder

Lagern und/oder Transportieren der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b),

wobei das Gas, enthaltend Kohlendioxid, vor dem Schritt b) mittels einer säurehaltigen Lösung gewaschen wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und

c) Lagern und/oder Transportieren der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b); und/oder

Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und

Freisetzungsmedium,

wobei das Gas, enthaltend Kohlendioxid, vor dem Schritt b) mittels einer säurehaltigen Lösung gewaschen wird.

- 5 Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine Aktivierung eines Gasgemisches mittels einer in Kontaktbringung mit einer säurehaltigen Lösung erfolgt, wodurch sich die Löslichkeit von Kohlendioxid in einem Akzeptormedium verbessert. In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Gas enthaltend Kohlendioxid vor dem Kontaktieren mit einer erfindungsgemäßen Akzeptorlösung mittels einer säurehaltigen Lösung gewaschen. Prinzipiell kann hierfür jede Säure
- 10 oder säurebildende Verbindung verwendet werden. Die bevorzugten Säuren sind HCl (Salzsäure), Schwefelsäure oder Phosphorsäure. In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Gas enthaltend Kohlendioxid vor dem Kontaktieren mit einer erfindungsgemäßen Akzeptorlösung mittels einer säurehaltigen Lösung ausgewählt aus Salzsäure, Schwefelsäure oder Phosphorsäure gewaschen.
- 15 Neben den bereits oben aufgeführten Verfahren zur direkten in Kontaktbringung des wässrigen Akzeptormediums mit einem Gas/Gasgemisch, wurde für Verfahren untersucht, mit denen eine indirekte in Kontaktbringung eines gasförmigen und eines flüssigen Mediums ermöglicht wird. Es konnte gezeigt werden, dass Kohlendioxid, bzw. dessen wasserlösliche Derivate, solide oder semi-solide Trennmedien (Gas-Flüssig-Trennmembran) passieren, die eine Gasphase enthaltend
- 20 Kohlendioxid und eine wässrige Akzeptorlösung separieren und hierdurch ein hoch effizienter und selektiver Transport von Kohlendioxid bzw. dessen Derivate in das wässrige Akzeptormedium erfolgt. In einer bevorzugten Ausführungsform der indirekten in Kontaktbringung einer Gas- und einer Flüssigphase erfolgt diese mittels eines Membrankontaktors.
- Bevorzugt ist daher ein Verfahren umfassend den Schritt Kontaktieren eines Gases, enthaltend
- 25 Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) mittels eines Membrankontaktors.
- Bei einem Membrankontaktor werden die miteinander in Kontakt zu bringenden Phasen durch eine Membran voneinander getrennt. In einer bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt die in Kontaktbringung eines wässrigen Akzeptormediums mit einem Gas/Gasgemisch mittels eines Membrankontaktors. Überraschenderweise wurde gefunden, dass bei Verwendung von
- 30 offenporigen Membranen in einem solchen Membrankontaktor, diese eine sehr hohe Diffusionsrate von wasserlöslichen Gasen oder gasförmigen Verbindungen von der Gasphase in die Flüssigkeitsphase ermöglichen. Es wurde gefunden, dass die hohe Diffusions-/Transportrate für gasförmige wasserlösliche Verbindungen durch die Eigenschaften des Akzeptormediums bedingt wird. So besteht im Vergleich zu wässrigen Absorptionsmedien aus dem Stand der Technik, wie
- 35 beispielsweise Lösungen von AlkanolAminen, eine Oberflächenspannung der wässrigen Akzeptorlösungen, die sich nicht von Wasser unterscheidet. Im Gegensatz hierzu ist die Oberflächenspannung bei Absorptionsverbindungen, die tensidische oder alkoholische Eigenschaften aufweisen reduziert. Daher sind offenporige Membranen bei Verwendung von wässrigen Lösungen mit Absorptionsverbindungen aus dem Stand der Technik nicht anwendbar,
- 40 da es hierbei zu einem Flüssigkeitsaustritt kommt. Es konnte gezeigt werden, dass es zu keinem Durch-/Austritt der Akzeptorflüssigkeit durch/aus einer offenporigen Membran, die eine mittlere Porengröße von 200µm aufwies kam, bei atmosphärischen Druckbedingungen sowohl auf der Gasseite als auch der Flüssigkeitsseite. Es konnte gezeigt werden, dass durch die Gestaltungsmöglichkeiten eine Membrankontaktors sich eine vollständige Extraktion von
- 45 Kohlendioxid in einer Membrankontaktorvorrichtung erreichen lässt, die wesentlich geringere Raumdimensionen hat, als eine mit Füllkörpern ausgerüstete Gaswaschvorrichtung. So kann beispielsweise ein Flachmembran-Modul bereitgestellt werden, das einerseits sehr flache Kanäle für die Gas- und die Flüssigkeitsphase aufweist und gleichzeitig aber vergleichsweise nur geringe

Kanallängen hat. Hierdurch lassen sich Bauformen von Membrankontaktern konzipieren, die an individuelle Gase/Gaszusammensetzungen sowie Volumenströme strömungstechnisch optimal adaptiert werden können. Im Stand der Technik sind verschiedene Bauformen bekannt, wie beispielsweise Wickelmodule oder Hohlfaser-Module oder Rohr-Module.

- 5 Die bevorzugten Membranen/soliden Trennmedien für den Schritt des Kontaktierens des Gases enthaltend Kohlendioxid mit einer erfindungsgemäßen Akzeptorlösung haben eine geringe Aufbauhöhe (Membrandicke). Diese ist vorzugsweise $< 300\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $< 200\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 50\mu\text{m}$ und noch weiter bevorzugt $< 25\mu\text{m}$. Bevorzugt ist daher ein Verfahren umfassend den Schritt Kontaktieren eines
- 10 Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) mittels einer Gas-Flüssig-Trennmembran mit einer mittleren Porengröße von $200\mu\text{m}$ bei Atmosphärendruck. Bevorzugt ist daher ein Verfahren umfassend den Schritt Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) mittels einer Membran mit einer Membrandicke von $< 300\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $< 200\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt
- 15 $< 50\mu\text{m}$ und noch weiter bevorzugt $< 25\mu\text{m}$. Bevorzugt ist daher ein Verfahren umfassend den Schritt Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) mittels einer Membran mit einer mittleren Porengröße von $200\mu\text{m}$ bei Atmosphärendruck, wobei die Membran eine Membrandicke von $< 300\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $< 200\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 50\mu\text{m}$ und noch weiter bevorzugt $< 25\mu\text{m}$
- 20 aufweist. Bevorzugt ist daher ein Verfahren umfassend den Schritt Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) mittels einer Membran mit einer mittleren Porengröße von $> 10\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $> 50\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 200\mu\text{m}$ noch weiter bevorzugt $> 250\mu\text{m}$ und am meisten bevorzugt $> 300\mu\text{m}$. Bevorzugt ist daher ein Verfahren umfassend den Schritt Kontaktieren eines
- 25 Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) mittels einer Membran mit einer mittleren Porengröße von $> 10\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $> 50\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 200\mu\text{m}$ noch weiter bevorzugt $> 250\mu\text{m}$ und am meisten bevorzugt $> 300\mu\text{m}$ bei Atmosphärendruck, wobei die Membran eine Membrandicke von $< 300\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $< 200\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 100\mu\text{m}$, weiter
- 30 bevorzugt $< 50\mu\text{m}$ und noch weiter bevorzugt $< 25\mu\text{m}$ aufweist. Bevorzugt ist daher ein Verfahren umfassend den Schritt Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) mittels einer Membran mit einer mittleren Porengröße von $> 10\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $> 50\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 200\mu\text{m}$ noch weiter bevorzugt $> 250\mu\text{m}$ und am meisten bevorzugt $> 300\mu\text{m}$, wobei die Membran eine
- 35 Membrandicke von $< 300\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $< 200\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 50\mu\text{m}$ und noch weiter bevorzugt $< 25\mu\text{m}$ aufweist.
- Die Membran/Folie kann dabei auf einem Trägermaterial befestigt oder mit einem solchen verbunden sein. Bevorzugt sind Membranen/solide Trennmedien, die offenporig sind, also durchgängige Kanäle oder kanalartige Strukturen aufweisen, die an beiden Seiten der Membran/
- 40 des soliden Trennmedium offen sind. Im Stand der Technik wird der mittlere Kanaldurchmesser oder die mittlere Porengröße angegeben. Die bevorzugten Membranen/solide Trennmedien weisen offene Kanäle mit einem mittleren Kanaldurchmesser oder einer mittleren Porengröße von $> 10\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $> 50\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 200\mu\text{m}$ noch weiter bevorzugt $> 250\mu\text{m}$ und am meisten bevorzugt $> 300\mu\text{m}$ auf.
- 45 Bevorzugt sind Membranen/solide Trennmedien, die eine hohe Porosität (Anzahl an Poren pro Flächeneinheit) aufweisen. Bevorzugt sind Membranen/solide Trennmedien mit einer Porosität von $> 50\%$, mehr bevorzugt von $> 60\%$, weiter bevorzugt von $> 70\%$, weiter bevorzugt von $> 80\%$ und noch weiter bevorzugt von $> 90\%$. Prinzipiell ist jedes Material mit dem aus dem Stand der

Technik Membranen/solide Trennmedien herstellbar sind geeignet für eine erfindungsgemäße Verfahrensausführung. Dabei erfolgt die Auswahl bevorzugt nach dem individuellen Anwendungszweck. Beispielsweise ist bei einer Anwendung, bei der ein heißes Gas/Gasgemisch (z.B. > 130°C) mit der Membran in Kontakt gebracht werden soll, ein hitzebeständiges Material bevorzugt auszuwählen. Geeignete Materialien sind hierbei beispielsweise PTFE (Polytetrafluorethylen) oder PC (Polycarbonat) oder Keramikmembranen. Bevorzugt ist daher ein Verfahren umfassend den Schritt Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) mittels einer Membran mit einer mittleren Porengröße von > 10µm, mehr bevorzugt > 50µm, weiter bevorzugt > 100µm, weiter bevorzugt > 150µm, weiter bevorzugt > 200µm noch weiter bevorzugt > 250µm und am meisten bevorzugt > 300µm, wobei die Membran eine Membrandicke von < 300µm, mehr bevorzugt < 200µm, weiter bevorzugt < 150µm, weiter bevorzugt < 100µm, weiter bevorzugt < 50µm und noch weiter bevorzugt < 25µm aufweist, wobei die Membran ausgewählt wird aus einer Polytetrafluorethylen (PTFE)-Membran, einer Polycarbonat-(PC)-Membran oder einer Keramikmembran.

Für unterschiedliche Anwendungen können besonders geeignete Materialien aus denen die Membranen/solide Trennmedien hergestellt sind ausgewählt werden. Beispielsweise wird in einer bevorzugten Verfahrensdurchführung, bei der Luft als Gasphase verwendet wird, um hieraus den darin enthaltenen Kohlendioxidanteil zu entfernen, eine Membran bevorzugt verwandt, die hydrophobe Oberflächeneigenschaften aufweist, messbar durch einen Wasserkontaktwinkel von > 90°. Vorzugsweise weist diese Membran zusätzlich lipophile Oberflächeneigenschaften auf, messbar z.B. durch einen Kontaktwinkel mit Ölsäure von < 10°. In einer weiteren bevorzugten Verfahrensausführung, bei der Luft als Gasphase verwendet wird, werden die erfindungsgemäßen Membranen/solide Trennmedien verwandt, die zusätzlich eine hydrophile Oberflächenbeschichtung erhalten. Vorzugsweise weist die hydrophile Oberflächenbeschichtung gleichzeitig hygrostatische Eigenschaften auf.

Es konnte gezeigt werden, dass sich mit Membrankontakoren auch andere Gase/Gaskomponenten als Kohlendioxid aus einem Gas/Gasgemisch entfernen lassen, sofern sie wasserlöslich sind und durch das erfindungsgemäße Akzeptormedium absorbiert werden.

In einer bevorzugten Verfahrensausführung werden in einem Membrankontaktor hohe Überströmungsgeschwindigkeiten der Flüssigphase und/oder der Gasphase an den Membranen/solide Trennmedien des Membrankontaktors eingestellt.

Die Akzeptorlösung enthält mindestens eine in Wasser leicht lösliche Akzeptorverbindung. Diese Akzeptorverbindung kann vollständig oder unvollständig gelöst vorliegen. Vorzugsweise erfolgt eine Aufnahme und Durchmischung der Akzeptorlösung von/mit Kohlendioxid während der Durchleitung/in Kontaktbringung eines Gases/Gasgemisches durch/mit der Akzeptorlösung.

Die mindestens eine gelöste/lösliche Verbindung der Akzeptorlösung bedingt vorzugsweise einen basischen pH der Lösung. Der pH der Akzeptorlösung beträgt vorzugsweise zwischen 7 und 14, mehr bevorzugt zwischen 8 und 13 und weiter bevorzugt zwischen 9 und 12,5. Mit anderen Worten stellt sich beim Lösen der Akzeptorverbindung ein pH-Wert zwischen 7 und 14, mehr bevorzugt zwischen 8 und 13 und weiter bevorzugt zwischen 9 und 12,5 ein.

Die bevorzugten wasserlöslichen Akzeptorverbindungen weisen mindestens eine Guanidino- und/oder Amidinogruppe auf. Bevorzugt sind Akzeptorverbindungen die eine Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweisen, weiter bevorzugt sind Akzeptorverbindungen die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweisen. In einigen Ausführungsformen sind Akzeptorverbindungen bevorzugt, die eine Amidinogruppe aufweisen, weiter bevorzugt eine freie Amidinogruppe aufweisen. In einigen Ausführungsformen sind Akzeptorverbindungen bevorzugt, die eine Guanidinogruppe aufweisen, weiter bevorzugt eine freie Guanidinogruppe aufweisen. Besonders bevorzugt sind wasserlösliche Verbindungen, die freie Guanidinogruppen tragen.

Die besonders bevorzugte guanidinogruppentragende Verbindung ist die Aminosäure Arginin. Die bevorzugte Konzentration der Akzeptorverbindung in der Akzeptorlösung beträgt zwischen 10 µmol und 10 mol/l, mehr bevorzugt zwischen 10 mmol/ und 5 mol/l und weiter bevorzugt zwischen 0,1 mol/ und 3mol/l. Dabei ist zu beachten, dass die Löslichkeit der Akzeptorverbindung durch die

Bindung von Kohlendioxid erhöht werden kann. Die Akzeptorverbindung kann daher während des Kontaktierens des Gases enthaltend Kohlendioxid mit der Akzeptorlösung hinzugefügt werden. Die Temperatur der Akzeptorlösung bei der eine in Kontaktbringung mit einem Gas/einer Gasphase erfolgt kann prinzipiell zwischen 0 und 100°C liegen. Die bevorzugte Temperatur bei der die in Kontaktbringung des Gases/Gasgemisches mit der Akzeptorlösung erfolgt, beträgt zwischen

1 und 60°C, mehr bevorzugt zwischen 10 und 35°C und weiter bevorzugt zwischen 15 und 30°C. Überraschenderweise ist die Akzeptorlösung besonders geeignet, um drucklos (bei Atmosphärendruck bzw. Normaldruck) eine Speicherung von gelöstem Kohlendioxid vorzunehmen. Es konnte gezeigt werden, dass Akzeptorlösungen enthaltend gelöstes und gebundenes Kohlendioxid auch über den Verlauf von 12 Monaten stabil bleiben, insbesondere kommt es weder zu einer Entmischung von Kohlendioxid noch zu einer mikrobiellen Besiedelung des Mediums. Überraschenderweise kommt es auch bei hohen Konzentrationen von Arginin z.B. 3 Mol/l, zu keinem Auskristallisieren von Arginin oder eine Präzipitatbildung, auch nicht bei einer Lagerung bei einer Temperatur von 3°C.

Bei den erfindungsgemäßen wässrigen Akzeptorlösungen handelt es sich vorzugsweise um Lösungen aus einer, zwei oder mehreren Aminosäure(n) und/oder Peptid(en), die in der Einzel- und/oder Gesamtkonzentration in einem Bereich von 10mmol/l bis 15mol/l, mehr bevorzugt zwischen 100mmol/l und 10mol/l und weiter bevorzugt zwischen 0,1mol/ und 5 mol/l vorliegen. Es kann sich dabei um L- oder D-Formen oder Racemate der Verbindungen handeln. Bevorzugt ist die Aminosäuren Arginin, ferner bevorzugt sind ihre Derivate. Besonders bevorzugt sind basische Aminosäuren und Peptide mit kationischen Gruppen (positiv geladene funktionelle Gruppen). Bei den erfindungsgemäß einsetzbaren Peptiden kann es sich um Di-, Tri- und/oder Polypeptide handeln. Die erfindungsgemäßen Peptide haben mindestens eine funktionelle Gruppe, die ein Proton bindet oder binden kann. Das bevorzugte Molekulargewicht liegt dabei unter 500kDa, mehr bevorzugt < 250kDa weiter bevorzugt < 100kDa und insbesondere bevorzugt < 1000Da. Die bevorzugten funktionellen Gruppen sind dabei insbesondere eine Guanidin-, Amidin-, Amin-, Amid-, Hydrazin-, Hydrazon-, Hydroxyimin- oder Nitro-Gruppe. Die Aminosäuren können dabei eine einzige funktionelle Gruppe aufweisen oder mehrere der gleichen Verbindungsklasse oder ein oder mehrere funktionelle Gruppe(n) unterschiedlicher Verbindungsklassen enthalten.

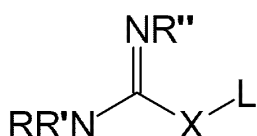
Vorzugsweise weisen die erfindungsgemäßen Aminosäuren und Peptide mindestens eine positive Ladungsgruppe (kationischen Gruppen / positiv geladene funktionelle Gruppen) auf, bzw. haben eine positive Gesamtladung. Besonders bevorzugte Peptide enthalten mindestens eine der Aminosäuren Arginin, Lysin, Histidin in einer beliebigen Anzahl und sequentiellen Folge.

Besonders bevorzugt sind Aminosäuren und/oder Derivate dieser, die mindestens eine Guanidino- und/oder Amidinogruppe enthalten. Weiter bevorzugt sind aber auch andere Akzeptorverbindungen, die mindestens eine Guanidino- und/oder Amidinogruppe enthalten. Als Guanidinogruppe wird der chemische Rest $\text{H}_2\text{N}-\text{C}(\text{NH})-\text{NH}-$ sowie dessen cyclische Formen bezeichnet und als Amidinogruppe der chemische Rest $\text{H}_2\text{N}-\text{C}(\text{NH})-$ sowie dessen cyclische Formen. Diese Guanidinoverbindungen und Amidinoverbindungen haben vorzugsweise einen Verteilungskoeffizienten K_{OW} zwischen n-Octanol und Wasser von kleiner als 6,3 ($K_{\text{OW}} < 6,3$). Insbesondere bevorzugt sind Argininderivate.

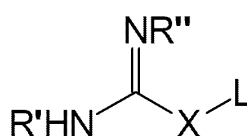
Argininderivate sind definiert als Verbindungen, welche eine Guanidinogruppe und eine Carboxylatgruppe oder eine Amidinogruppe und eine Carboxylatgruppe aufweisen, wobei Guanidinogruppe und Carboxylatgruppe oder Amidinogruppe und Carboxylatgruppe durch

mindestens ein Kohlenstoffatom voneinander entfernt sind, d.h. sich zumindest eine der folgenden Gruppen zwischen der Guanidinogruppe oder der Amidinogruppe und der Carboxylatgruppe befindet: $-\text{CH}_2-$, $-\text{CHR}-$, $-\text{CRR}'-$, worin R und R' unabhängig voneinander beliebige chemische Reste darstellen. Natürlich kann der Abstand zwischen der Guanidinogruppe und der Carboxylatgruppe oder der Amidinogruppe und der Carboxylatgruppe auch mehr als ein Kohlenstoffatom betragen, beispielsweise bei folgenden Gruppen $-(\text{CH}_2)_n-$, $-(\text{CHR})_n-$, $-(\text{CRR}')_n-$, mit $n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ oder 9 , wie es z.B. bei Amidinopropionsäure, Amidinobuttersäure, Guanidinopropionsäure oder Guanidinobuttersäure der Fall ist. Verbindungen mit mehr als einer Guanidinogruppe und mehr als einer Carboxylatgruppe sind beispielsweise Oligoarginin und Polyarginin. Weitere Beispiele von Verbindungen, die unter diese Definition fallen, sind Guanidinoessigsäure, Kreatin, Glycocyamin.

Bevorzugte Verbindungen weisen dabei als gemeinsames Merkmal die allgemeinen Formel (I) oder (II)



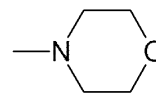
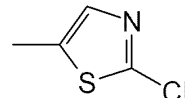
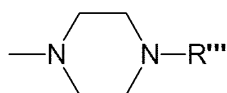
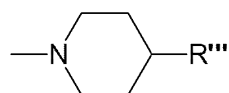
Formel (I)



Formel (II)

Wobei

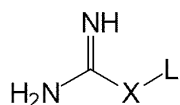
- 15 R, R', R'', R''' und R'''' unabhängig voneinander $-\text{H}$, $-\text{CH}=\text{CH}_2$, $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$, $-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$, $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$, $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{CH}=\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$, $-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{C}_3\text{H}_7$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{C}_4\text{H}_9$, $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$, $-\text{C}_5\text{H}_{11}$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}_3\text{H}_7$, $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_3$, $-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$, $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{C}_6\text{H}_{13}$, $-\text{C}_7\text{H}_{15}$, Cyclo- C_3H_5 , cyclo- C_4H_7 , cyclo- C_5H_9 , Cyclo- C_6H_{11} , $-\text{C}\equiv\text{CH}$, $-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{CH}$, $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{C}\equiv\text{CH}$, $-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$ repräsentieren, oder R' und R'' bilden zusammen den Rest $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$, $-\text{CO}-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_2-\text{CO}-$, $-\text{CH}=\text{CH}-$, $-\text{CO}-\text{CH}=\text{CH}-$, $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}-$, $-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CO}-$, $-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{CH}_2-$ oder $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$; X repräsentiert $-\text{NH}-$, $-\text{NR}''''-$, oder $-\text{CH}_2-$ oder ein substituiertes Kohlenstoffatom; und
- 25 L repräsentiert eine C_1 bis C_8 lineare oder verzweigte und gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette mit mindestens einem Substituent ausgewählt aus der Gruppe umfassend oder bestehend aus $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{PO}_3\text{H}_2$, $-\text{PO}_3\text{H}^-$, $-\text{PO}_3^{2-}$, $-\text{OPO}_3\text{H}_2$, $-\text{OPO}_3\text{H}^-$, $-\text{OPO}_3^{2-}$, $-\text{COOH}$, $-\text{COO}^-$, $-\text{CO}-\text{NH}_2$, $-\text{NH}_3^+$, $-\text{NH}-\text{CO}-\text{NH}_2$, $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$, $-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3^+$, $-\text{N}(\text{C}_3\text{H}_7)_3^+$, $-\text{NH}(\text{CH}_3)_2^+$, $-\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2^+$, $-\text{NH}(\text{C}_3\text{H}_7)_2^+$, $-\text{NHCH}_3$, $-\text{NHC}_2\text{H}_5$, $-\text{NHC}_3\text{H}_7$, $-\text{NH}_2\text{CH}_3^+$, $-\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_5^+$, $-\text{NH}_2\text{C}_3\text{H}_7^+$, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{SO}_3^-$, $-\text{SO}_2\text{NH}_2$, $-\text{C}(\text{NH})-\text{NH}_2$, $-\text{NH}-\text{C}(\text{NH})-\text{NH}_2$, $-\text{NH}-\text{COOH}$, oder



Es ist bevorzugt, dass die Kohlenstoffkette L im Bereich von C_1 bis C_7 ist, bevorzugter im Bereich von C_1 bis C_6 , weiterhin bevorzugt im Bereich von C_1 bis C_5 , und am bevorzugtesten im Bereich von C_1 bis C_4 .

- 35 Vorzugsweise repräsentiert L $-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, oder $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$.

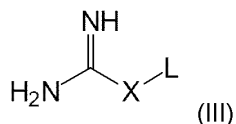
Bevorzugt sind Verbindungen der allgemeinen Formel (III), die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweisen, wie unten gezeigt:



wobei die Reste X und L die Bedeutungen haben, wie hierin offenbart.

5

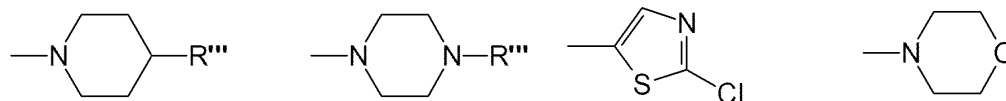
Bevorzugte Verbindungen, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweisen, weisen dabei als gemeinsames Merkmal die allgemeinen Formel (III) auf:



wobei

- 10 X repräsentiert $-\text{NH}-$, $-\text{NR}''''-$, oder $-\text{CH}_2-$ oder ein substituiertes Kohlenstoffatom; und L repräsentiert eine C_1 bis C_8 lineare oder verzweigte und gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette mit mindestens einem Substituent ausgewählt aus der Gruppe umfassend oder bestehend aus

- 15 $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{PO}_3\text{H}_2$, $-\text{PO}_3\text{H}^-$, $-\text{PO}_3^{2-}$, $-\text{OPO}_3\text{H}_2$, $-\text{OPO}_3\text{H}^-$, $-\text{OPO}_3^{2-}$, $-\text{COOH}$, $-\text{COO}^-$, $-\text{CO}-\text{NH}_2$, $-\text{NH}_3^+$, $-\text{NH}-\text{CO}-\text{NH}_2$, $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$, $-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3^+$, $-\text{N}(\text{C}_3\text{H}_7)_3^+$, $-\text{NH}(\text{CH}_3)_2^+$, $-\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2^+$, $-\text{NH}(\text{C}_3\text{H}_7)_2^+$, $-\text{NHCH}_3$, $-\text{NHC}_2\text{H}_5$, $-\text{NHC}_3\text{H}_7$, $-\text{NH}_2\text{CH}_3^+$, $-\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_5^+$, $-\text{NH}_2\text{C}_3\text{H}_7^+$, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{SO}_3^-$, $-\text{SO}_2\text{NH}_2$, $-\text{C}(\text{NH})-\text{NH}_2$, $-\text{NH}-\text{C}(\text{NH})-\text{NH}_2$, $-\text{NH}-\text{COOH}$, oder

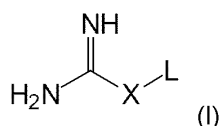


- 20 R''' $-\text{H}$, $-\text{CH}=\text{CH}_2$, $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$, $-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$, $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$, $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{CH}=\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$, $-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{C}_3\text{H}_7$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{C}_4\text{H}_9$, $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$, $-\text{C}_5\text{H}_{11}$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}_3\text{H}_7$, $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_3$, $-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$, $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{C}_6\text{H}_{13}$, $-\text{C}_7\text{H}_{15}$, Cyclo- C_3H_5 , cyclo- C_4H_7 , cyclo- C_5H_9 , Cyclo- C_6H_{11} , $-\text{C}\equiv\text{CH}$, $-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{CH}$, $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{C}\equiv\text{CH}$, $-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$ repräsentiert, Es ist bevorzugt, dass die Kohlenstoffkette L im Bereich von C_1 bis C_7 ist, bevorzugter im Bereich von C_1 bis C_6 , weiterhin bevorzugt im Bereich von C_1 bis C_5 , und am bevorzugtesten im Bereich von C_1 bis C_4 .

25

Vorzugsweise repräsentiert L $-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, oder $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$.

- 30 Bevorzugte Verbindungen, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweisen, weisen dabei als gemeinsames Merkmal die allgemeinen Formel (I)

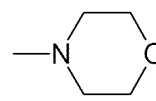
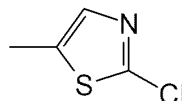


wobei

- 35 X repräsentiert $-\text{NH}-$, oder $-\text{CH}_2-$ oder ein substituiertes Kohlenstoffatom; und L repräsentiert eine C_1 bis C_8 lineare oder verzweigte und gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette mit mindestens einem Substituent ausgewählt aus der Gruppe umfassend oder

bestehend aus

- 5 $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{PO}_3\text{H}_2$, $-\text{PO}_3\text{H}^-$, $-\text{PO}_3^{2-}$, $-\text{OPO}_3\text{H}_2$, $-\text{OPO}_3\text{H}^-$, $-\text{OPO}_3^{2-}$, $-\text{COOH}$, $-\text{COO}^-$, $-\text{CO}-\text{NH}_2$, $-\text{NH}_3^+$, $-\text{NH}-\text{CO}-\text{NH}_2$, $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$, $-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3^+$, $-\text{N}(\text{C}_3\text{H}_7)_3^+$, $-\text{NH}(\text{CH}_3)_2^+$, $-\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2^+$, $-\text{NH}(\text{C}_3\text{H}_7)_2^+$, $-\text{NHCH}_3$, $-\text{NHC}_2\text{H}_5$, $-\text{NHC}_3\text{H}_7$, $-\text{NH}_2\text{CH}_3^+$, $-\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_5^+$, $-\text{NH}_2\text{C}_3\text{H}_7^+$, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{SO}_3^-$, $-\text{SO}_2\text{NH}_2$, $-\text{C}(\text{NH})-\text{NH}_2$, $-\text{NH}-\text{C}(\text{NH})-\text{NH}_2$, $-\text{NH}-\text{COOH}$, oder



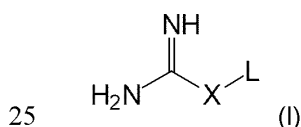
Es ist bevorzugt, dass die Kohlenstoffkette L im Bereich von C_1 bis C_7 ist, bevorzugter im Bereich von C_1 bis C_6 , weiterhin bevorzugt im Bereich von C_1 bis C_5 , und am bevorzugtesten im Bereich von C_1 bis C_4 .

- Vorzugsweise repräsentiert L $-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$,
 10 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$,
 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, oder $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$.

Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, umfassend die Schritte:

- 15 a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist;
 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a); und
 c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/ Kohlendioxid-Derivaten in der
 20 Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmittel; oder

Lagern und/oder Transportieren der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b),
 wobei die Akzeptorverbindung die allgemeinen Formel (I) aufweist:

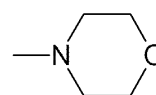
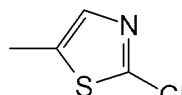
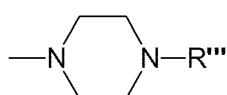
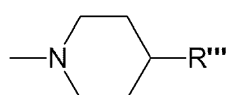


wobei

X repräsentiert $-\text{NH}-$, $-\text{NR}'''$, oder $-\text{CH}_2-$ oder ein substituiertes Kohlenstoffatom; und

L repräsentiert eine C_1 bis C_8 lineare oder verzweigte und gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette mit mindestens einem Substituent ausgewählt aus der Gruppe umfassend oder
 30 bestehend aus

$-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{PO}_3\text{H}_2$, $-\text{PO}_3\text{H}^-$, $-\text{PO}_3^{2-}$, $-\text{OPO}_3\text{H}_2$, $-\text{OPO}_3\text{H}^-$, $-\text{OPO}_3^{2-}$, $-\text{COOH}$, $-\text{COO}^-$, $-\text{CO}-\text{NH}_2$, $-\text{NH}_3^+$, $-\text{NH}-\text{CO}-\text{NH}_2$, $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$, $-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3^+$, $-\text{N}(\text{C}_3\text{H}_7)_3^+$, $-\text{NH}(\text{CH}_3)_2^+$, $-\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2^+$, $-\text{NH}(\text{C}_3\text{H}_7)_2^+$, $-\text{NHCH}_3$, $-\text{NHC}_2\text{H}_5$, $-\text{NHC}_3\text{H}_7$, $-\text{NH}_2\text{CH}_3^+$, $-\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_5^+$, $-\text{NH}_2\text{C}_3\text{H}_7^+$, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{SO}_3^-$, $-\text{SO}_2\text{NH}_2$, $-\text{C}(\text{NH})-\text{NH}_2$, $-\text{NH}-\text{C}(\text{NH})-\text{NH}_2$, $-\text{NH}-\text{COOH}$, oder



- 35 R''' $-\text{H}$, $-\text{CH}=\text{CH}_2$, $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$, $-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$, $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$, $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{CH}=\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$, $-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{C}_3\text{H}_7$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{C}_4\text{H}_9$, $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$, $-\text{C}_5\text{H}_{11}$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}_3\text{H}_7$, $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_3$, $-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$, $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, $-\text{C}_6\text{H}_{13}$, $-\text{C}_7\text{H}_{15}$, Cyclo- C_3H_5 , cyclo- C_4H_7 , cyclo- C_5H_9 ,

Cyclo-C₆H₁₁, -C≡CH, -C≡C-CH₃, -CH₂-C≡CH, -C₂H₄-C≡CH, -CH₂-C≡C-CH₃ repräsentiert, L im Bereich von C₁ bis C₇ ist, bevorzugter im Bereich von C₁ bis C₆, weiterhin bevorzugt im Bereich von C₁ bis C₅, und am bevorzugtesten im Bereich von C₁ bis C₄, wobei vorzugsweise L -CH(NH₂)-COOH, -CH₂-CH(NH₂)-COOH, -CH₂-CH₂-CH(NH₂)-COOH, 5 -CH₂-CH₂-CH₂-CH(NH₂)-COOH, -CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH(NH₂)-COOH, oder -CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH(NH₂)-COOH repräsentiert.

Die erfindungsgemäßen Akzeptorlösungen können weitere Verbindungen enthalten, die keine Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweisen und sich vorteilhaft auf die Verfahrensausführung 10 auswirken. Dies können beispielsweise basenbildende Verbindungen seien, wie Lysin und Histidin. Ferner kann die Akzeptorlösung Verbindungen enthalten, die beispielsweise eine antimikrobielle Wirkung haben oder die Oberflächenspannung des Mediums verändern.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Akzeptorverbindung eine Aminosäure ist und der pH der Akzeptorlösung in einem Bereich zwischen 8 und 13 liegt.

15 In einer weiter bevorzugten Verfahrensausführung enthält das wässrige Akzeptormedium weitere Verbindungen oder Additive. Bevorzugte weitere Verbindungen sind insbesondere Kalium- und Natriumhydroxid. Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass durch die Anwesenheit dieser Verbindungen die Separierbarkeit des in dem Akzeptormedium gebundenen Kohlendioxids, bzw. 20 der Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen bei Anlegen einer Gleichspannung mit einem geringen Energieaufwand vollziehen lässt.

Laugen von Kalium (KOH) oder Natrium (NaOH) verbessern die elektrische Leitfähigkeit (Elektrolysierbarkeit) von Wasser konzentrationsabhängig. Auch die Spannung, ab der eine Elektrolyse des Wassers erfolgt, wird reduziert, sie beträgt zwischen 0,6 und 2 Volt je nach der 25 gewählten Elektrodenkonfiguration. Es wurde gefunden, dass bei einem Gemisch aus einer Lösung enthaltend Arginin als Akzeptorverbindung mit einer Kali- oder Natronlauge es nicht zu einer Elektrolyse des Wassers kam, während dies der Fall war bei wässrigen Kali- bzw. Natronlaugen mit einer identischen Konzentration ohne Arginin. Beispielsweise kam es nach 30 Minuten in der Elektrolysevorrichtung zur Erzeugung von 18,2ml Sauerstoff an der Anode und 6,4ml Wasserstoff an der Kathode bei Anlage einer Spannung von 12V bei einer 3%igen NaOH- 30 Lösung. Unter der Verwendung der gleichen Versuchsanordnung wurde bei einer 2molaren Argininlösung enthaltend 3Gew% NaOH keine Gasbildung beobachtet. Mit der gleichen Versuchsvorrichtung konnte bei einer 2molaren Argininlösung, die mit Kohlendioxid gesättigt worden war, bei Anlegen einer Spannung von 12 V innerhalb von 30 Minuten keine Gasbildung beobachtet werden. Wenn dieser Lösung NaOH hinzugegeben wurde, sodass eine 3Gew%ige 35 Lösung vorlag, kam es unter den gleichen Bedingungen (12V) zu einer Gasbildung von 7,8ml an der Kathode und zu keiner Gasbildung an der Anode. Das Gas, das sich an der Kathode gebildet hatte war Kohlendioxid. Somit konnte gezeigt werden, dass bei Anlegen einer Gleichspannung Hydrogencarbonat-/Carbonatanionen, welche in dem Akzeptormedium gebunden vorliegen, sich durch die Anwesenheit von Hydroxidionen an der Kathode zu Kohlendioxid abscheiden lassen. Es 40 konnte für Gleichspannungen von über 40V gezeigt werden, dass auch bei einer 4 Gew%igen Lösung von NaOH oder KOH in einer wässrigen Lösung enthaltend Arginin sowie gelöstes Kohlendioxid/Hydrogencarbonat-/Carbonatanionen, es zu keiner Elektrolyse des Wassers kam die zu einer Sauerstoffbildung geführt hat. Allerdings konnte mit höherer Gleichspannung eine erhebliche Menge an Kohlendioxid an der Kathode freigesetzt werden. Somit konnte 45 überraschenderweise gezeigt werden, dass die Anwesenheit einer Kali- und/oder Natronlauge in einer erfindungsgemäßen wässrigen Akzeptorlösung dazu führt, dass während des Anlegens einer Gleichspannung an die mit Kohlendioxid angereicherte Akzeptorlösung, es zu einer Separation von Hydrogencarbonat-Carbonat-Anionen kommt und an der Kathode gasförmiges Kohlendioxid

freigesetzt wird, wobei es zu keiner Elektrolyse des Wassers kommt, die eine Sauerstoff- und Wasserstoffproduktion bedingt. Dies ermöglicht eine sehr effiziente Ausnutzung der elektrischen Leistung, die zur Separation und Gewinnung von Kohlendioxid aus einer Akzeptorlösung erforderlich ist.

- 5 Es wurde dann gefunden, dass die Anwesenheit einer Lauge in der Akzeptorflüssigkeit das Aufnahmevermögen der Akzeptorlösung für Kohlendioxid erhöht und es nicht zu einem Ausfall von Kalium- oder Natriumcarbonat als Feststoff kommt, während dies der Fall ist, wenn in dem Akzeptormedium keine der erfindungsgemäßen Akzeptorverbindungen enthalten sind. Das heißt dass Kohlendioxid vorteilhafterweise bevorzugt mit dem Arginin reagiert.
- 10 Es konnte ferner gezeigt werden, dass die Anwesenheit von Laugen keinen Einfluss auf die Lagerungseigenschaften der Akzeptorlösung hat. Insbesondere kommt es zu keiner spontanen Freisetzung von Kohlendioxid aus der Akzeptorlösung bei Anwesenheit einer Lauge. Daher ist ein Zusatz von Natron- oder Kalilauge zum wässrigen Akzeptormedium eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.
- 15 Bevorzugt ist ein Zusatz von NaOH und/oder KOH zu einer wässrigen Akzeptorlösung unter Ausbildung einer Konzentration zwischen 0,01 und 10Gew%, mehr bevorzugt zwischen 0,5 und 8Gew%, weiter bevorzugt zwischen 1 und 6 Gew% und weiter bevorzugt zwischen 2 und 5Gew%. In einer weiter bevorzugten Verfahrensausführung wird eine wässrige Akzeptorlösung enthaltend Kali- oder Natronlauge bereit gestellt, mit einem pH zwischen 12 und 14.
- 20 Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das wässrige Akzeptormedium enthaltend eine gelöste Akzeptorverbindung zusätzlich eine Kali- und/oder Natronlauge enthält. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem durch Zusatz einer Kali- und/oder Natronlauge zu einer Akzeptorlösung enthaltend gelöstes Kohlendioxid/Hydrogencarbonat/Carbonatanionen eine elektrolysefreie elektrophoretische Separation von Hydrogencarbonat/Carbonat-Anionen sowie
- 25 eine Entmischung unter Ausbildung von gasförmigem Kohlendioxid als Gasphase erfolgt. Durch den Zusatz von NaOH oder KOH erhöht sich mit ansteigender Konzentration eine Korrosivität des Akzeptormediums. So kam es beispielsweise zu einer Zersetzung von Elektrodenmaterial aus Kohlenstoff oder Aluminium. Es wurde gefunden, dass eine Verbesserung der elektrophoretischen Separation von Kohlendioxid, bzw. dessen Derivate aus einem erfindungsgemäßen Akzeptormedium auch möglich ist durch
- 30 Salze von Natrium- und/oder Kalium. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass bei einem Zusatz von Natriumcitrat oder Natriumsulfat oder Kaliumtartrat zu einer 2 molaren Argininlösung, sodass jeweils eine 8 – 14Gew%ige Lösung der Salze vorlag, sich die elektrophoretische Separation von Kohlendioxid gegenüber der Verwendung von NaOH oder KOH verbesserte, gleichzeitig der pH der Lösung
- 35 <12,5 blieb. Bei Untersuchungen zum Bindungsvermögen der wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend gelöste Salze von Natrium und/ oder Kalium für Kohlendioxid, bzw. dessen wasserlösliche Derivate, zeigte sich, dass sich dieses konzentrationsabhängig steigern ließ. Somit kann durch die Bereitstellung
- 40 einer wässrigen Akzeptorlösung enthaltend, neben einer erfindungsgemäßen Akzeptorverbindung, gelöste Salze von Natrium und/oder Kalium, das Aufnahmevermögen der Akzeptorlösung für Kohlendioxid bzw. dessen Derivate verbessert werden. Es konnte gezeigt werden, dass weder durch die Absorption von Kohlendioxid noch durch eine Desorption, die durch einen elektrophoretischen Prozess erfolgt, es zu einer Feststoffbildung kam. Die bevorzugte
- 45 Konzentration von Natrium- oder Kaliumsalzen in einer erfindungsgemäßen Akzeptorlösung beträgt zwischen 0,1 und 25 Gew%, mehr bevorzugt zwischen 1 und 20 Gew% und weiter bevorzugt zwischen 2 und 15 Gew%. Die bevorzugten Gegenionen der Salze sind: Sulfat SO_4^{2-} , Phosphat PO_4^{3-} , Acetat, Citrat, Tartrat, Oxalat. Die Salze können einzeln oder in einer beliebigen

Kombination der Akzeptorlösung hinzugegeben werden. Der pH der Akzeptorlösung, enthaltend gelöste Natrium- und/oder Kaliumsalze, liegt vorzugsweise zwischen 8,0 und 13,5 mehr bevorzugt zwischen 8,5 und 13 und weiter bevorzugt zwischen 9 und 12,5. Die bevorzugten Akzeptorlösungen, enthaltend Natrium- und oder Kaliumsalze, sind nicht korrosiv.

- 5 Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine wässrige Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine gelöste Akzeptorverbindung sowie mindestens ein gelöstes Natrium- und/oder Kaliumsalz, zur Absorption von Kohlendioxid bereitgestellt wird und hierin Kohlendioxid, bzw. dessen Derivate gelöst/gebunden wird/werden.

Es wurde gefunden, dass auch aus Akzeptorlösungen, die Natrium- und/oder Kaliumsalze
10 enthalten und mit Kohlendioxid bis zur Sättigung beaufschlagt worden sind, unter atmosphärischem Druck kein Kohlendioxid spontan freigesetzt wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem mittels einer wässrigen Akzeptorlösung Kohlendioxid über den Verlauf von mehr als 12 Monaten drucklos (bei Atmosphärendruck bzw. Normaldruck) gebunden werden kann.

- 15 Es wurde gefunden, dass diese Eigenschaft auch dazu führt, dass sich Kohlendioxid in der wässrigen Akzeptorlösung drucklos (bei Atmosphärendruck bzw. Normaldruck) transportieren lässt. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem mittels einer wässrigen Akzeptorlösung Kohlendioxid drucklos (bei Atmosphärendruck bzw. Normaldruck) transportiert werden kann.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein Transport und/oder Lagerung der Akzeptorlösung, mit
20 hierin gebundenem Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten, erfolgt.

Somit wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien das charakterisiert ist durch die Schritte:

- a) Bereitstellung einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist,
25 b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) bis zum Erreichen einer Kohlendioxid-Konzentration des Gases von < 100ppm,
c) Transport und/oder Lagerung der Akzeptorlösung, enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate nach Schritt b).

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Akzeptorverbindung eine Aminosäure ist und der pH der Akzeptorlösung in einem Bereich zwischen 8 und 13 liegt.
30

Die Akzeptorlösungen werden vorzugsweise mit einem deionisiertem Wasser (VE-Wasser) hergestellt. Die eine oder mehrere Akzeptorverbindung(en) wird/werden vorzugsweise in dem Wasser vollständig gelöst. Dabei kann die Lösung erhitzt werden, um die Löslichkeit der einen oder mehreren Verbindung(en) zu erhöhen.

- 35 Da überraschenderweise gefunden wurde, dass sich die Löslichkeit der Akzeptor-Verbindungen erheblich erhöhen lässt, indem während oder im Anschluss an einen wärmeinduzierten Lösungsvorgang eines Teils der Akzeptorverbindung eine in Kontaktbringung mit Kohlendioxid erfolgt, wird in einer bevorzugten Ausführungsform der Lösungsvorgang von Akzeptorverbindungen unter Einleitung von Kohlendioxid durchgeführt. Hierdurch können
40 ungelöste Akzeptor-Verbindungen gelöst/in Lösung gebracht werden, bzw. es ist eine weitere Erhöhung der Konzentration der Akzeptorverbindung(en) möglich. Am Beispiel von Arginin konnte gezeigt werden, dass sich Konzentrationen von 5mol/l und mehr erreichen lassen. Darüber hinaus bleiben diese Lösungen stabil, d.h. es kommt zu keiner Kristallisation der Akzeptorverbindung(en).

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Löslichkeit einer Akzeptorverbindung dadurch erhöht wird,
45 indem das Akzeptor-Medium, in dem sich die Akzeptorverbindung in gelöster und/oder ungelöster Form vorliegt, mit einem Gas/Gasgemisch, bestehend aus oder enthaltend Kohlendioxid, mit dem Akzeptor-Medium in Kontakt gebracht wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein Kontaktieren des Akzeptor-Mediums mit einem

Gas/Gasgemisch, enthaltend mindestens eine gasförmige Verbindung, die bei Kontakt mit Wasser eine wasserlösliche Verbindung ausbildet, stattfindet und bei dem die wasserlöslichen Verbindungen in ionischer oder ionisierbarer Form im Akzeptor-Medium vorliegen, unter Ausbildung einer reversiblen Bindung der gelösten Verbindung mit der gelösten Akzeptorverbindung.

Vorzugsweise erfolgt die in Kontaktbringung der Gasphase mit dem Akzeptor-Medium bis der Gehalt des Gases/der gasförmigen Verbindung das/die in dem Akzeptor-Medium gelöst wird < 100ppm beträgt.

Es konnte gezeigt werden, dass eine erfindungsgemäße Extraktion von Kohlendioxid bei verschiedensten Gasen/Gasgemischen möglich ist und sich hierdurch sehr vorteilhafte Effekte ergeben. So konnte für Verbrennungsgase von Diesel- und Benzinmotoren sowie von Kohlehochöfen, gezeigt werden, dass der hierin enthaltene Kohlendioxid-Anteil, der zwischen 10 und 25Gew% betrug, auf < 0,01 Vol.% reduziert werden kann, z.B. durch eine in Kontaktbringung des Gases mit einer Akzeptorlösung, die mittels eines statischen Mischers erfolgte. Eine Entfernung des Kohlendioxid-Anteils, der in einer Menge von 52 Vol% in einem Gasgemisch aus einer Biogasherstellung vorlag, war möglich, wodurch ein Biomethan erhalten wurde mit einer Reinheit von > 98,5 Vol.%. Es wurde gefunden, dass Gase oder gasförmige Verbindungen, die bei Kontakt mit Wasser keine Säureform ausbilden, nicht an die erfindungsgemäße Akzeptorverbindung(en) gebunden werden und es somit weder zu einem Austrag aus dem Gas/Gasgemisch das mit einer Akzeptorlösung in Kontakt gebracht wird kommt, noch dieses in der Akzeptorlösung in einer höheren Konzentration vorliegt, als dies bei dem gegebenen Partialdruck, der sich bei in Kontaktbringen der Gasphase und dem Akzeptor-Medium einstellt, der Fall ist. So findet beispielsweise keine Anreicherung in der Akzeptorlösung statt für Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenmonoxid, Edelgase oder Kohlenwasserstoffe, wie Methan oder Butan.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung eines Methan-Rein-Gases

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung eines Bio-Methan-Rein-Gases

Es wurde gefunden, dass durch die erfindungsgemäßen Akzeptorlösungen Gase/gasförmige Verbindungen, die bei Kontakt mit Wasser eine Säureform ausbilden, sich in einer wässrigen Akzeptorlösung binden lassen. Sofern eine selektive Extraktion und/oder Gewinnung von Kohlendioxid gewünscht ist, ist es vorteilhaft, andere Gase/gasförmigen Verbindungen, die ebenfalls eine Säureform in Wasser ausbilden und damit in Konkurrenz zur Absorption von Kohlendioxid stehen können, aus einem Gas/Gasgemisch zu entfernen, bevor dieses mit einer der erfindungsgemäßen Akzeptorverbindungen in Kontakt gebracht wird. Vorzugsweise erfolgt bei derartigen Gasen/Gasgemischen eine Entfernung oder Reduktion derartiger Verbindungen, wie beispielsweise SO₂, H₂S, NO, NO₂ sowie andere Stickoxide oder Cl₂ oder HCl. Dies kann mit Verfahren aus dem Stand der Technik erfolgen, wie beispielsweise Katalysatoren, Adsorptionsmitteln oder einer wässrigen Gaswäsche. Das Gas/Gasgemisch, das mit der Akzeptorlösung in Kontakt gebracht werden soll, hat vorzugsweise eine Temperatur zwischen 0 und 100°C, mehr bevorzugt zwischen 10 und 85°C und weiter bevorzugt zwischen 15 und 70°C.

Prinzipiell kann die Akzeptorlösung auch zur Kühlung eines Gases/Gasgemisches verwandt werden, sodass auch höhere Temperaturen eines Gases/Gasgemisches möglich sind. Um eine Verdampfung des wässrigen Akzeptor-Mediums zu vermeiden, ist in diesem Fall vorzugsweise eine Kühlung der Lösung vorzusehen. Das Gas/Gasgemisch, das nach einer in Kontaktbringung mit einem wässrigen Akzeptor-Medium erhältlich wird, kann je nach Temperatur, Zusammensetzung, dem Volumenstrom oder der Art der in Kontaktbringung Wasserdampf sowie Wasser in Tropfenform aufweisen. Es ist möglich, dass hierdurch Akzeptorlösung und damit Akzeptorverbindungen verloren gehen. Daher sollte vorzugsweise eine möglichst vollständige Entfernung von Wasseranteilen aus dem behandelten Gas/Gasgemisch vorgenommen werden.

Dies kann mit Verfahren aus dem Stand der Technik erfolgen, wie beispielsweise einer Vorrichtung zur Kondensatabscheidung. Die abgeschiedene Wasserphase wird sodann der Akzeptorlösung wieder zugeführt. Die erfindungsgemäßen Akzeptorverbindungen werden bei der erfindungsgemäßen Verfahrensdurchführung nicht verbraucht und unterliegen keinem autokatalytischen Prozess. Daher ist das Verfahren gerichtet auf eine ökonomische Prozessführung, bei der die Akzeptorverbindung verlustfrei in einer Kreislaufführung wieder verwendet wird.

Bevorzugt ist ein prozess-ökonomisches Verfahren, bei dem eine verlustfreie Wiederverwendung der Akzeptorverbindung erfolgt.

Es wurde gefunden, dass bei Verwendung eines Membrankontaktors die in Kontaktbringung auch von heißen und trocknen Gasströmen nicht zu einem relevanten Verlust an wässriger Akzeptorlösung führt. Dies ist durch Auswahl einer geeigneten Membran/solidem Trennmedium möglich. So ist es beispielsweise möglich Gase mit einer Temperatur bis 150°C in einem Membrankontaktor zu behandeln, der eine Polycarbonatmembran als Grenzfläche aufweist. Bei

Verwendung von Keramikfolien können auch Gasströme die eine Temperatur von > 200°C aufweisen behandelt werden. Daher erfolgt in einer bevorzugten Verfahrensausführung eine Extraktion von wasserlöslichen Gasen/Gasanteilen eines Gasstroms durch eine in Kontaktbringung des Akzeptormedium mit dem Gasstrom in einem Membrankontaktor. In einer besonders bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt die in Kontaktbringung eines Gasstroms, enthaltend mindestens einen wasserlöslichen Gasanteil, der eine Temperatur von bis 350°C aufweist, mit einem wässrigen Akzeptor-Medium in einem Membrankontaktor. Daher erfolgt in einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens die Verwendung eines Membrankontaktors zur in Kontaktbringung einer Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) mit einem Gasstrom, der mindestens einen wasserlöslichen Gasanteil hat oder aus einem solchen besteht und vorzugsweise in einem Temperaturbereich zwischen 10 und 400°C, mehr bevorzugt zwischen 50 und 350°C und weiter bevorzugt zwischen 70 und 300°C in den Membrankontaktor eingeleitet wird. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein Gasstrom, der mindestens einen wasserlöslichen Gasanteil enthält und der eine Temperatur von bis 350°C aufweist, mit einem wässrigen Akzeptor-Medium in einem Membrankontaktor in Kontakt gebracht wird.

Gasförmiges Kohlendioxid wird an der Grenzfläche zu einem Akzeptor-Medium sehr rasch und vollständig aufgenommen, solange hierin noch Akzeptorverbindungen vorliegen, die nicht an einer Bindung von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen beteiligt sind. Eine mit Kohlendioxid gesättigte Akzeptorlösung, in der Kohlendioxid vollständig gelöst vorliegt, ist klar und es findet keine spontane Entgasung statt.

Vollständig gelöst bedeutet dabei, dass sich in einem geschlossenen Gefäß enthaltend das/die gelöste(n) Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen bei 20°C kein Dampfdruck von mehr als 2kPa durch Kohlendioxid entwickelt.

Es wurde gefunden, dass eine Entgasung vorgenommen werden kann, beispielsweise durch eine Absenkung des pH des Akzeptor-mediums. Dies kann beispielsweise durch Zusatz einer Säure erfolgen.

In der Analyse des Gasstroms, der durch eine Entgasung der wässrigen Akzeptorlösung, enthalten guanidino- und/oder amidinogruppentragende Verbindungen und hierin in gesättigter Form gelöstes Kohlendioxid, durch eine Säure (z.B. HCl) erhalten wurde, konnte keine andere Verbindung als Kohlendioxid festgestellt werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Freisetzung des in dem erfindungsgemäßen Akzeptormedium gelösten Kohlendioxid bzw. der gebundenen Hydrogencarbonat-/Carbonat-Anionen in Form einer reinen Kohlendioxid-Gasphase, sich durch Verfahren, die zu einer Protonierung der Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) führen, bewerkstelligen lässt. Dabei kann in einer

Verfahrensausführung beispielsweise eine Säure aus dem Stand der Technik verwandt werden.

Dabei kann es sich um organische oder anorganische Säuren handeln. Bevorzugte organische Säuren sind Ameisensäure oder Essigsäure. Bevorzugte anorganische Säuren sind Hypochlorige Säure (HCl) oder Schwefelsäure. Die Konzentration der Säure und das Volumenverhältnis in dem diese der Akzeptorflüssigkeit hinzugegeben werden, sind prinzipiell frei wählbar. Bevorzugt sind konzentrierte Säuren. Durch die Hinzugabe der Säure wird ein pH der Akzeptorflüssigkeit eingestellt, der vorzugsweise im Bereich zwischen 2 und 7, weiter bevorzugt im Bereich 3 bis 6 und weiter bevorzugt im Bereich zwischen 3,5 und 5 liegt. Hierdurch wird eine Entfernung von in der Akzeptorflüssigkeit gelöstem/gebundenem Kohlendioxid bzw. dessen wasserlösliche Derivate, von vorzugsweise > 70Gew%, mehr bevorzugt von > 80 Gew% und weiter bevorzugt von > 90 Gew% erreicht und als reine Kohlendioxid-Gasphase erhältlich.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein wässriges Akzeptor-Medium mit einem wasserlöslichen Gas gesättigt wird und anschließend eine Freisetzung des in der Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) gebundenen wasserlöslichen Gases dadurch erfolgt, indem der pH des Akzeptor-Mediums auf einen Bereich zwischen 2 und 7 eingestellt wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein wässriges Akzeptormedium mit einem wasserlöslichen Gas gesättigt wird und anschließend eine Freisetzung des in der Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) gebundenen wasserlöslichen Gases dadurch erfolgt, indem der pH des Akzeptormediums auf einen Bereich zwischen 2 und 7 durch Zugabe einer Säure eingestellt wird.

Eine Hinzugabe einer Säure zum Akzeptor-Medium bedingt die Einbringung von Anionen, deren Verbleib in der Akzeptorflüssigkeit sich nachteilig auf die Wiederaufnahmefähigkeit der Akzeptorverbindungen gegenüber wasserlöslichen Gasen, bzw. dessen Derivate auswirkt. Daher erfolgt in einer bevorzugten Form der Verfahrensausführung im Anschluss an den Eintrag von Anionen, die nicht einer der wasserlöslichen Formen des wasserlöslichen Gases/Gasanteils mit dem die Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) beaufschlagt worden ist entspricht, vor einer erneuten Beaufschlagung der Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) mit einem wasserlöslichen Gas/Gasanteil, eine Separation der hinzugegebenen Anionen. Hierfür sind Verfahren aus dem Stand der Technik bekannt. Beispielsweise ist eine Entfernung von Anionen, wie z.B. Cl^- (Chlorid) oder SO_4^{2-} (Sulfat) mittels einer Elektrodialyse möglich. Mit derartigen elektrophoretischen Verfahren lassen sich aber auch organische Säurereste entfernen, wodurch ebenfalls eine Regeneration der Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) erreicht werden kann. In einer weiteren und bevorzugten Verfahrensausführung wird der Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung), der eine anorganische Säure zugesetzt worden ist, eine Lauge, wie z.B. Kali- oder Natronlauge hinzugegeben. Vorzugsweise erfolgt die Dosierung der Lauge in dem Maß, sodass durch den Zusatz ein äquimolares Verhältnis, zwischen den dem Akzeptor-Medium hinzugegebenen Anionen einerseits und den mittels der Hinzugabe der Lauge zugeführten Kationen andererseits, hergestellt wird.

Vorzugsweise erfolgt hieran eine Separation des entstandenen Salzes. Dies kann vorzugsweise mittels eines elektrophoretischen Verfahrens, z.B. einer Elektrodialyse, erfolgen. Die hiermit regenerierte Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) kann sodann zur erneuten Aufnahme von wasserlöslichen Gasen/Gasanteilen bzw. dessen wasserlösliche Derivate eingesetzt werden.

Im Stand der Technik sind aber auch andere kationische Verbindungen bekannt, die alternativ zu einer Lauge verwendet werden können, um die freien sowie an die Akzeptorverbindung gebundenen Anionen, die zur Freisetzung des wasserlöslichen Gases hinzugegeben worden sind, zu binden, bzw. abzulösen, um sie sodann mit einem der hierin aufgeführten Verfahrensarten aus dem wässrigen Akzeptor-Medium zu entfernen, sodass die Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) zur erneuten Absorption wasserlöslicher Gase/Gasanteile zu Verfügung steht.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein wässriges Akzeptor-Medium mit einem wasserlöslichen Gas gesättigt wird und anschließend eine Freisetzung des in der Akzeptorflüssigkeit

(Akzeptorlösung) gebundenen wasserlöslichen Gases durch Zugabe einer Säure bewerkstelligt wird und im Anschluss hieran die Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) dadurch regeneriert wird, indem eine Zugabe von Lauge erfolgt und anschließend eine Separation des entstandenen Salzes durch eine elektrophoretische Separation erfolgt.

5 In einer weiteren bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt die Absenkung des pH der mit einem wasserlöslichen Gas/Gasanteil, bzw. dessen wasserlöslichen Derivate, gesättigten Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung) mittels eines elektrochemischen Verfahrens. Dies kann beispielsweise bewerkstelligt werden, indem die Akzeptorflüssigkeit (Akzeptorlösung), die ein gelöstes wasserlösliches Gas/Gasanteil bzw. dessen Derivate enthält, in eine Elektrodialyse-
10 Vorrichtung eingebracht wird. Vorzugsweise wird dabei eine Anordnung der Elektrodialysenkammern gewählt, bei der an die Akzeptorkammer anodenseits eine Elektrolytkammer angeschlossen ist. Vorzugsweise befindet sich zwischen den Kammern eine kationenselektive Membran. Die wasserlöslichen Derivate der Kohlensäure werden dann in der Akzeptorkammer als Kohlendioxid freigesetzt.

15 Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein wässriges Akzeptormedium mit einem wasserlöslichen Gas gesättigt wird und anschließend eine Freisetzung des in der Akzeptorflüssigkeit gebundenen wasserlöslichen Gases dadurch erfolgt, indem der pH des Akzeptormediums auf einen Bereich zwischen 2 und 7 durch einen elektrochemischen Prozess eingestellt wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem nach Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit
20 der Akzeptorlösung bis zum Erreichen einer Kohlendioxid-Konzentration des Gases von < 100ppm, oder nach einem Transport und/oder Lagerung der Akzeptorlösung, enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate, der Verfahrensschritt erfolgt: Freisetzung des im Akzeptormedium gebundenen Kohlendioxid als Gasphase.

Bei einer weiteren bevorzugten Verfahrensausführung, erfolgt die Freisetzung des in dem wässrigen Akzeptormedium gelösten und gebundenem wasserlöslichen Gas/Gasanteil, bzw. dessen Derivate im Anschluss an eine räumliche Separation aus dem Akzeptormedium. In einer bevorzugten Verfahrensausführung werden das/die gelöste(n) und gebundene(n) Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen durch einen elektrophoretischen Prozess in ein Aufnahme- und Freisetzungsmedium transportiert. Es konnte gezeigt werden, dass es in einem
30 erfindungsgemäßen Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium, in das Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen transportiert worden sind, spontan zur Ausbildung einer Gasphase kommt. In der sich ausbildenden Gasphase konnte nur Kohlendioxid detektiert werden. Somit ist es möglich, ohne Aufwendung eines Druckes, Kohlendioxid selektiv aus einem Gasgemisch zu entfernen und in einem Auffanggefäß isoliert freizusetzen.

35 Überraschenderweise wurde gefunden, dass sich aus der Akzeptorlösung das gelöste Kohlendioxid/ Carbonat-/Hydrogencarbonat -Anionen sehr leicht mittels eines Membranverfahrens separieren lässt/lassen. Hierzu ist keine Veränderung des pH der Akzeptorlösung erforderlich. So wurde gefunden, dass Membranen, die für gasförmige Verbindungen und/oder Anionen durchlässig sind, für einen selektiven Transport von Kohlendioxid/ Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen geeignet sind. Es wurde gefunden, dass aber auch offenporige Membranen/Trennmedien
40 geeignet sind, einen nicht-selektiven Durchgang von Kohlendioxid/ Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen zu ermöglichen.

Überraschenderweise sind offenporige Membranen für die Separation von gelösten Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen aus den erfindungsgemäßen wässrigen
45 Medien besonders geeignet. Bevorzugt sind mikro- oder mesoporöse Membranen. Aber auch makroporöse und nanoporöse Membranen können verwandt werden. Die äußeren und inneren Membranoberflächen können hydrophil oder hydrophob sein. Bevorzugt sind hydrophobe Membranoberflächen. Es konnte gezeigt werden, dass im Vergleich zu

Anionenaustauschmembranen oder bipolaren Membranen, die aus einem geschlossenen Polymerfilm bestehen, ein erheblich größerer Massen-/Volumenstrom des/der elektrophoretisch transportierten Kohlendioxids/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen möglich ist.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Separation von gelösten Kohlendioxid/Carbonat-

- 5 /Hydrogencarbonat-Anionen mittels offenporiger Membranen erfolgt. Die offenporigen Membranen sind vorzugsweise mikro- und/oder mesoporös und haben hydrophobe Oberflächeneigenschaften. Die bevorzugten Transportformen für Kohlendioxid/ Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen basieren auf einem diffusiven Prozess, einem Konzentrationsgradienten oder einem thermischen oder elektrischen Gradienten sowie Kombinationen dieser. Bevorzugte sind offenporige
- 10 Membranen, d.h. ein solides oder semisolides Trennmedium (Trennmembran), das geeignet ist, ein wässriges Medium drucklos zurückzuhalten und offene Poren aufweist, die beide Seiten der Membran miteinander verbinden und für ein Gas und/oder Anionen durchlässig sind. Vorzugsweise weisen die offenen Poren im Mittel einen Durchmesser zwischen 10 nm und 1mm auf, weiter bevorzugt zwischen 100nm und 500Mikrometern und weiter bevorzugt zwischen 1 Mikrometer und
- 15 200 Mikrometern auf. Die bevorzugten Membranen weisen an ihren inneren und/oder äußeren Oberflächen hydrophile oder hydrophobe elektrostatische Eigenschaften auf.

Durch die erfindungsgemäße Sättigung des Akzeptor-Mediums ist Kohlendioxid vollständig gebunden, sodass es nicht zu einer Entmischung und somit zu einem Druckaufbau in einer Akzeptor-Kammer kommt. Dies ist deshalb besonders vorteilhaft, da hierdurch ein

20 Separationsverfahren zur Abtrennung von gelöstem Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukten mit Wasser, mit einer offenporigen Separationsmembran erfolgen kann, ohne Notwendigkeit eines Druckausgleichs zwischen den Behältnissen, enthaltend das Akzeptormedium bzw. ein Aufnahme- und/oder FreisetzungsmEDIUM. Hierdurch kann die Aufnahmevorrichtung für das Aufnahme- und/oder FreisetzungsmEDIUM offen gegen den Atmosphärendruck sein. In einer

25 bevorzugten Ausführungsform sind sowohl die Aufnahmevorrichtungen (Kammern) für das Akzeptormedium, als auch für das Aufnahme- und/oder FreisetzungsmEDIUM, offen gegen den Atmosphärendruck.

Überraschenderweise bildeten sich sehr rasch konfluierende (zusammenfließende) Gasblasen auf beiden Seiten einer solchen Trennmembran, wenn in der Kammereinheit, die an die

30 Akzeptorkammer angrenzt, eine wässrige Lösung enthaltend eine Säure vorgelegt wurde. Somit kommt es durch einen diffusiven Prozess von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen durch das Trennmedium (Trennmembran) in die Kammer, welche an die Akzeptorkammer angrenzt und in der eine Säure vorgelegt war, wodurch Kohlendioxid freigesetzt wird. In der Folge wird diese Kammereinheit als **Aufnahme- und Freisetzungskammer** bezeichnet. Das in einer Aufnahme-

35 und Freisetzungskammer befindliche Medium wird folglich **Aufnahme- und FreisetzungsmEDIUM** genannt.

Wie im Folgenden dargelegt, ist es möglich, dass auch andere Trennmedien verwendet werden, die einen Transport von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrocarbonat-Anionen aus einem wässrigen Akzeptor-Medium in einem Aufnahme- und FreisetzungsmEDIUM ermöglichen.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine Separation von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrocarbonat-Anionen aus einem wässrigen Akzeptor-Medium durch ein Trennmedium (Trennmembran) erfolgt und hierdurch in einem Aufnahme- und FreisetzungsmEDIUM aufgenommen und /oder freigesetzt wird/werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine Separation von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrocarbonat-Anionen aus einem wässrigen Akzeptor-Medium durch ein Trennmedium (Membran) erfolgt, die auf einem diffusiven, osmotischen und/oder elektrophoretischen Prozess basiert.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Trennmedium zur Separation von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrocarbonat-Anionen aus einem wässrigen Akzeptormedium ein

solides oder semisolides Trennmedium (Trennmembran) ist, das ein wässriges Medium drucklos (Atmosphärendruck) zurückhält und offene Poren aufweist, die beide Seiten der Membran miteinander verbinden und für ein Gas und/oder Anionen durchlässig sind.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das solide oder semisoliden Trennmedium (Trennmembran) zur Separation von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrocarbonat-Anionen eine Trennmembran ist.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Trennmembran zur Separation von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrocarbonat-Anionen eine anionenselektive oder bipolare Polymere Membran ist.

Überraschenderweise kann gelöstes Kohlendioxid, bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen sehr effizient aus der erfindungsgemäßen Akzeptorlösung mittels elektrophoretischer Verfahren separiert werden.

Bevorzugt ist die Durchführung einer Elektrodialyse zur Separation von gelösten Kohlendioxid/Hydrogencarbonat-Anionen. Die Elektrodialyse kann dabei mit Verfahren und Vorrichtungen aus dem Stand der Technik erfolgen.

Es wurde gefunden, dass das/die elektrophoretisch transportierte(n) Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen sich in dem Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium enthaltend anionische Aminosäuren entmischt/entmischen und als gasförmiges Kohlendioxid entweicht.

In einer bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt eine Separation von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrocarbonat-Anionen aus einem wässrigen Akzeptor-Medium, indem das Akzeptor-Medium, enthaltend Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrocarbonat-Anionen, in eine Akzeptor-Kammer gefüllt wird, welche durch ein Trennmedium (Trennmembran) von einer hieran angrenzenden Aufnahme- und Freisetzungskammer getrennt ist. In der Aufnahme- und Freisetzungskammer befindet sich vorzugsweise ein Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium. Dieses ist vorzugsweise ein wässriges Medium. Vorzugsweise weist dieses einen pH im Bereich zwischen 1 und 7 auf, weiter bevorzugt zwischen 2 und 6 und weiter bevorzugt zwischen 3 und 5. In einer besonders bevorzugten Ausführungsart sind in dem Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium säuregruppen-tragende Verbindungen gelöst. Besonders bevorzugt sind Verbindungen, die mindestens eine Säuregruppe tragen und einen isoelektrischen Punkt im Bereich zwischen 3 und 5 oder weiter bevorzugt zwischen 3,5 und 4,5 haben. Besonders bevorzugt sind säuregruppen-tragende Aminosäuren, insbesondere Asparaginsäure und Glutaminsäure. Die bevorzugte Konzentration liegt in einem Bereich zwischen 1mmol/l und 3mol/l. Ferner bevorzugt sind organische Säuren, die mehr als eine Säuregruppe tragen und eine gute Wasserlöslichkeit aufweisen, wie beispielsweise Zitronensäure oder Ascorbinsäure. Prinzipiell sind auch anorganische Säuren geeignet, wie beispielsweise Schwefelsäure oder Diphosphorsäure. Bei Verwendung von anorganischen Säuren sind wässrige Lösungen dieser Säuren mit einer Konzentration zwischen 1 und 50Gew% bevorzugt. Ferner sind Mischungen verschiedener Säure bevorzugt. Der Temperaturbereich in dem das Aufnahme- und Freisetzungsmedium eingesetzt wird, kann prinzipiell frei zwischen 1 und 99°C gewählt werden. Bevorzugt ist ein Temperaturbereich zwischen 30 und 80°C, weiter bevorzugt zwischen 40 und 75°C und noch weiter bevorzugt zwischen 50 und 70°C.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem in der Aufnahme- und Freisetzungskammer sich ein Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium befindet, in dem sich mindestens eine Verbindung befindet, die mindestens eine Säuregruppe trägt und einen isoelektrischen Punkt im Bereich zwischen 3 und 5 hat.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium eine wässrige Lösung einer organischen und/oder anorganischen Säure ist.

Überraschenderweise wurde gefunden, dass diese Verfahrensausführung dazu geeignet ist, einen selektiven Transport von Kohlendioxid bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in die Aufnahme- und Freisetzungskammer bzw. das Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium zu

ermöglichen, wobei sich aus dem Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium das Kohlendioxid entmischt und unter Wasserabspaltung aus den Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen gasförmiges Kohlendioxid entsteht, sodass sich eine Gasphase ausbildet, in der ausschließlich Kohlendioxid enthalten ist. Somit ist es möglich, Kohlendioxid selektiv zu binden, zu transportieren und an einem beliebigen Ort selektiv freizusetzen.

In einer bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt eine kontinuierliche oder diskontinuierliche Durchströmung der Aufnahme- und Freisetzungskammer mit dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium, wobei vorzugsweise eine hohe Überströmungsgeschwindigkeit an der Oberfläche des Trennmediums (Trennmembran) erfolgt, wodurch eine Ausgasung an der Oberfläche des Trennmediums (Trennmembran) vollständig oder fast vollständig verhindert werden kann und eine Aufnahme von Hydrogencarbonat-Carbonat-Anionen in das Aufnahme- und Freisetzungsmedium erfolgt, mit dem diese vorzugsweise in ein separates Behältnis eingeleitet werden, in dem dann die Ausgasung vollzogen wird. Es wurde gefunden, dass es besonders vorteilhaft ist, wenn in diesem separaten **Freisetzungsbehälter** eine möglichst vollständige Entgasung von Kohlendioxid erfolgt und das Aufnahme- und Freisetzungsmedium sodann wieder der Aufnahme- und Freisetzungskammer zugeleitet wird, wodurch die Transportleistung sowohl durch das Trennmedium, als auch in dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium, deutlich gesteigert werden kann (siehe Figur 1). Eine effiziente Entgasung des Aufnahme- und Freisetzungsmediums kann beispielsweise durch die Überströmung von Oberflächen erfolgen. Vorzugsweise handelt es sich dabei um hydrophobe Oberflächen aus Materialien wie PTFE oder Graphit. Ferner kann die Entgasung mit bekannten Techniken, wie beispielsweise der Anlage eines Unterdrucks, einer Beaufschlagung mit Ultraschall, einer Anlage von Scherkräften zur Cavitationserzeugung und/oder einer Erhitzung des Aufnahme- und Freisetzungsmediums erreicht werden.

In einer bevorzugten Ausführungsart erfolgt die Separation von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen aus dem wässrigen Akzeptor-Medium durch ein Elektrodialyseverfahren. Dabei wird die Akzeptorlösung, in der Kohlendioxid, bzw. dessen Reaktionsprodukte mit Wasser, gelöst vorliegen, einer Akzeptorkammer einer Elektrodialyse-Einheit zugeführt. Die Elektrodialyse-Einheit besteht im einfachsten Fall aus einer Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer, die durch ein Trennmedium (Trennmembran) voneinander getrennt sind.

Die Elektroden können sich dabei direkt in den Prozessmedien befinden, d.h. die Anode kann sich dabei in dem Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium und die Kathode kann sich in der Akzeptorlösung befinden. Mehr bevorzugt sind Elektrodialyse-Vorrichtungen, bei denen die Elektroden in einer Anoden- bzw. Kathodenkammer (Elektrodenkammern) befindlich sind und bei denen die Akzeptorkammer bzw. Aufnahme- und Freisetzungskammer durch eine ionenselektive Membran von den Elektrodenkammern getrennt sind, wobei die Anoden- und Kathodenkammer mit einem zum Elektronentransport geeigneten Medium, z.B. einer Elektrolytlösung, gefüllt sind (siehe Figur 1). In einer weiter bevorzugten Ausführungsart werden multiple Kammereinheiten, bestehend aus Akzeptorkammern und Aufnahme- und Freisetzungskammern in wiederholter Anordnung zusammengefügt, wobei die Kammerstapel an beiden Enden durch die Anoden- bzw. Kathodenkammer abgeschlossen und hiermit elektrisch leitfähig verbunden werden. In einer bevorzugten Verfahrensanordnung grenzt die erste Akzeptorkammer an die Kathodenkammer und die letzte Aufnahme- und Freisetzungskammer an die Anodenkammer an. In einer weiteren bevorzugten Verfahrensausführung sind die Akzeptorkammern von den Aufnahme- und Freisetzungskammern jeweils durch eine bipolare Membran getrennt.

Vorzugsweise erfolgt der Transport von Kohlendioxid bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen durch die Anlage einer elektrischen Gleichspannung zwischen der Kathode und Anode. Die Spannung und Stromstärke, bei denen eine erfindungsgemäße Elektrodialyse erfolgt, ist abhängig

von spezifischen Prozessparametern, wie dem Abstand zwischen den Elektroden, der Anzahl der Kammereinheiten, dem Widerstand der Membranen und der Prozesslösungen sowie der Querschnittsfläche und sind somit individuell zu ermitteln.

In einer bevorzugten Ausführungsart wird in der Aufnahme- und Freisetzungskammer, enthaltend das Aufnahme-/Freisetzungsmedium, das durch das Trennmedium (Trennmembran) transportierte Kohlendioxid als Gas freigesetzt. In einer weiter bevorzugten Ausführungsart wird das durch das Trennmedium (Trennmembran) transportierte Kohlendioxid bzw. der Kohlendioxid-Derivate in dem Aufnahme-/Freisetzungsmedium aufgenommen und in einer Freisetzungsvorrichtung als Gas freigesetzt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem nach Schritt b) oder c) der Schritt c1) oder d1) erfolgt: Freisetzung des im Akzeptormedium gebundenen Kohlendioxid als Gasphase.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Akzeptormedium aus Schritt b) sich in einer Akzeptorkammer einer Elektrodialyse-Vorrichtung befindet oder hierin eingeleitet wird und der Transport von Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten gemäß Schritt c) mittels eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer hergestellt wird, erfolgt, wobei die Akzeptorkammer(n) und die Aufnahme- und Freisetzungskammer(n) durch ein Trennmedium (Trennmembran) voneinander separiert werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate durch ein Trennmedium (Trennmembran) transportiert wird/werden, wobei das Trennmedium eine Membran ist, die durchlässig ist für Ionen und/oder Gasmoleküle.

Bevorzugt ist ein Verfahren, zur Elektrodialyse eines Akzeptormediums und Transport von Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten gemäß Schritt c) mittels eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer hergestellt wird, bei dem das Trennmedium eine Membran ist, die durchlässig ist für Ionen und/oder Gasmoleküle.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem in der Aufnahme- und Freisetzungskammer eine Freisetzung des/der durch das Trennmedium (Trennmembran) transportierten Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivate in Form eines reinen Kohlendioxid-Gases erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem in der Aufnahme- und Freisetzungskammer das/die durch das Trennmedium (Trennmembran) transportierte Kohlendioxid/Carbonat/Hydrocarbonat-Anionen in Form eines reinen Kohlendioxid-Gases freigesetzt wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem nach Schritt b) oder c) der Schritt b2) oder c2) erfolgt: Separation von Kohlendioxid/Carbonat/Hydrocarbonat-Anionen aus dem Akzeptormedium durch ein Trennmedium (Trennmembran) mittels eines diffusiven, osmotischen oder elektrophoretischen Verfahrens und Transport in ein Aufnahme-/Freisetzungsmedium, wobei in dem Aufnahme-/Freisetzungsmedium eine Freisetzung von Kohlendioxid als reine Gasphase erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem nach Schritt b) oder c) der Schritt b3) oder c3) erfolgt: Separation von Kohlendioxid/Carbonat/Hydrocarbonat-Anionen aus dem Akzeptormedium durch ein Trennmedium (Trennmembran) mittels eines diffusiven, osmotischen oder elektrophoretischen Verfahrens und Transport in ein Aufnahme-/Freisetzungsmedium, wobei die Freisetzung von Kohlendioxid als reine Gasphase aus dem Aufnahme-/Freisetzungsmedium in einer Freisetzungsvorrichtung erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem nach Schritt c) die Schritte c3') und c3) folgen: c3') Einleiten des wässrigen Aufnahme- und Freisetzungsmediums enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten aus Schritt c) in eine Freisetzungsvorrichtung; und c3)

Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxids/ Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c3') in der Freisetzungskammer.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Akzeptormedium aus Schritt b) sich in einer Kathodenkammer einer Elektrodialyse-Vorrichtung befindet oder hierin eingeleitet wird und der Transport von Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten gemäß Schritt c) mittels eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Kathodenkammer und einer Anodenkammer hergestellt wird, erfolgt, wobei die Kathodenkammer(n) und die Anodenkammer(n) durch ein Ionen- oder Gaspermeables Trennmedium (Trennmembran) voneinander separiert werden.

In einer bevorzugten Ausführungsart sind die Kammern, in denen Kohlendioxid freigesetzt wird oder werden kann, mit einer Auffangvorrichtung für ein Gas ausgestattet, die es vorzugsweise ermöglicht, dass es zu keinem Druckaufbau in dieser Kammer kommt.

In einer bevorzugten Ausführungsart wird das Kohlendioxid, das nach einem der Verfahren im Anschluss an eine Bindung in einem Akzeptor-Medium wieder freigesetzt und in einer Gas auffangvorrichtung aufgefangen und wird von dort einer weiteren Verwendung zugeführt (siehe Figur 1).

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem Kohlendioxid im Anschluss an eine Bindung/Transport oder Speicherung in einem Akzeptor-Medium wieder als Gasphase freigesetzt und einer weiteren Verwendung zugeführt wird.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart des erfindungsgemäßen Verfahrens, wird eine erfindungsgemäße Verfahrensanordnung verwendet, um neben der Separation von wasserlöslichen Gasen/Gasanteilen sowie der selektive Freisetzung, auch eine Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff vorgenommen. Bei einer bevorzugten Verfahrensausführung, bei der eine Elektrodialyse-Vorrichtung für den Transport von Kohlendioxid/Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen verwendet wird, kommt es in den Elektrodenkammern zu einer Elektrolyse von Wasser, da in der Regel eine Spannung angelegt werden muss, die eine Elektrolyse in den jeweils gewählten Elektrolytlösungen bedingt. Es wurde gefunden, dass sich eine Kammeranordnung bestehend aus einer Akzeptorkammer- und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer in eine Verfahrensanordnung zur Elektrolyse einbringen lässt, wodurch die Energieeffizienz des erfindungsgemäßen Verfahrens deutlich erhöht werden kann. Durch die zusätzliche Verfügbarkeit von Wasserstoff und Sauerstoff kann eine sehr hohe Energieeffizienz des Verfahrens erreicht werden, die vorzugsweise > 90%, mehr bevorzugt > 95% und weiter bevorzugt > 98% beträgt.

In einer weiteren bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt die Freisetzung von in einem wässrigen Akzeptormedium gelösten wasserlöslichen Gas/Gasanteil an einer Kathode. Überraschenderweise wurde gefunden, dass die erfindungsgemäßen Akzeptorlösungen geeignet sind, um bei Anlegen einer Gleichspannung, eine Elektrolyse von Wasser, die zu einer Bildung von Sauerstoff und Wasserstoff führt zu supprimieren, obwohl aufgrund der Leitfähigkeit der Akzeptorlösung ein Stromfluss besteht. Dieses Phänomen wurde insbesondere bei Verwendung von Arginin als Akzeptorverbindung gefunden. Somit erfolgt ein molekularer Ladungstransfer. Es wurde gefunden, dass der molekulare Ladungstransfer gegenüber einer Elektrolyse bevorzugt erfolgt mit Zunahme der Distanz zwischen Anode und Kathode. So kam es auch bei Anlegen einer Spannung von 40V und eines niederamperigen Stromflusses (< 200 mA) zu keiner Gasbildung. Ferner unerwartet war die Beobachtung, dass bei Anwesenheit einer Kali- oder Natronlauge in einer Akzeptorlösung, enthaltend gelöstes Arginin, es ebenfalls zu keiner Elektrolyse des Wassers kam, die eine Wasserstoff oder Sauerstoffproduktion zur Folge hatte, während eine Elektrolyse des Wassers bei der gleichen Einstellung von Spannung und Stromstärke bei reinen Kali- oder Natronlauge identischer Konzentrationen gegeben war. Somit erfolgt ein bevorzugter Ladungstransfer über die gelöste Akzeptorverbindung. Es wurde dann gefunden, dass wenn die Akzeptorlösung mit einem wasserlöslichen Gas beaufschlagt worden ist, unter Ausbildung wasserlöslicher Derivate in der Akzeptorlösung, es zu einer Gasbildung ausschließlich an der Anode bei Anlegen einer Gleichspannung kam. Im Fall der Verwendung von Kohlendioxid als

wasserlösliches Gas mit dem die Akzeptorflüssigkeit Akzeptorlösung beaufschlagt wurde, bestand das Gas, das sich an der Kathode gebildet hatte aus reinem Kohlendioxid. Somit wurde ein Verfahren gefunden, mit dem über einen internen Ladungstransfer einer Akzeptorlösung eine wasserlösliche Form eines wasserlöslichen Gases an der Kathode bei Anlage einer Gleichspannung selektiv als Gas freigesetzt werden kann.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine wässrige Lösung enthaltend gelöstes Arginin bei Anlegen einer Gleichspannung an die wässrige Lösung, eine Suppression einer Elektrolyse des Wassers, die zu einer Bildung von Wasserstoff oder Sauerstoff führt, bewirkt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine Lösung enthaltend gelöstes Arginin bei Anlegen einer Gleichspannung an die wässrige Lösung, einen molekularen Ladungstransfer bewirkt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem durch die Bereitstellung einer Akzeptorlösung eine Elektrolyse unter Anlage einer Gleichspannung supprimiert werden kann. Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein in einer wässrigen Akzeptorlösung gelöstes Gas, bzw. dessen wasserlösliche Derivate, an einer Kathode unter Anlage einer Gleichspannung als Gasphase freigesetzt werden kann, wobei es zu keiner Elektrolyse kommt, die zu einer Bildung von Wasserstoff oder Sauerstoff führt.

Somit kann ein Verfahren bereitgestellt werden, bei dem eine Abscheidung von wasserlöslichen Derivaten wasserlöslicher Gase als Gasphase an einer Kathode, unter Anlage einer Gleichspannung und ohne elektrischen Verlust durch eine Elektrolyse, die zu Bildung von Sauerstoff oder Wasserstoff führt, vorgenommen werden. Prinzipiell kann diese

Verfahrensausführung mit Vorrichtungen zur Elektrodialyse aus dem Stand der Technik durchgeführt werden. Es hat sich gezeigt, dass in Abhängigkeit von der Energiedichte, die an den Elektroden bei Anlage einer Gleichspannung entsteht, der Abstand zwischen den Elektrode so groß gewählt werden sollte, sodass es nicht zu einer Bildung von Sauerstoff (ersichtlich durch Ausbleiben einer Gasbildung an der Anode) kommt. Entsprechend kann die Spannung, bei einer gegebenen Konfiguration von Elektroden und einem gegebenen Abstand zwischen diesen, so gewählt werden, sodass es zu keiner Gasbildung an den Elektroden kommt, wenn eine unbeladene Akzeptorlösung mit der elektrischen Spannung beaufschlagt wird. Vorteilhaft ist die Verwendung großflächiger Elektroden. Ferner vorteilhaft ist es, wenn die Oberfläche der Anode größer ist als die der Kathode. In einer vorteilhaften Ausführungsform sind der Anoden- und der

Kathodenraum durch ein Trennmedium (Membran) separiert, wodurch eine elektrisch miteinander verbundene Anoden- und Kathodenkammer entstehen. Dabei ist es vorteilhaft, wenn das Trennmedium (Membran) einen möglichst geringen elektrischen Widerstand aufweist. Vorzugsweise sollte das Trennmedium (Membran) offenporig sein, aber einen Gasdurchtritt verhindern. In einer bevorzugten Ausführungsform besteht eine direkte und offene Verbindung zwischen den Kammern, sodass die Akzeptorflüssigkeit frei durchtreten kann, unterhalb der Elektrodenoberfläche, auf Höhe der Elektrodenoberfläche oder beides. In einer weiter bevorzugten Ausführungsform erfolgt eine Durchströmung der Elektrodenkammern, indem eine Einleitung der mit einem wasserlöslichen Gas beaufschlagten Akzeptorflüssigkeit in die Kathodenkammer erfolgt und die Lösung konsekutiv durch die Anodenkammer geleitet wird. Dabei erfolgt die Durchleitung durch die offenen Verbindungen und/oder das für eine Flüssigkeit passierbare Trennmedium (Trennmembran) das sich zwischen den Elektrodenkammern befindet. Es wurde gefunden, dass sich hierdurch die Abscheidung einer Gasphase der in dem wässrigen Akzeptormedium gelösten Gase, bzw. deren wasserlösliche Derivate, deutlich erhöhen lässt.

Das Elektrodenmaterial ist prinzipiell freiwählbar. Sofern neben den erfindungsgemäßen Akzeptorverbindungen Kali- oder Natronlauge in dem Akzeptormedium vorliegt ist die Auswahl entsprechend zu adaptieren. Bevorzugte Elektrodenmaterialien sind Graphit, Nickel, Edelstahl, Platin oder Gold. Auch Kombinationen der Materialien für Anode und Kathode sowie Mischlegierungen sind bevorzugt. Die elektrische Gleichspannung, die vorzugsweise zwischen

Das Elektrodenmaterial ist prinzipiell freiwählbar. Sofern neben den erfindungsgemäßen Akzeptorverbindungen Kali- oder Natronlauge in dem Akzeptormedium vorliegt ist die Auswahl entsprechend zu adaptieren. Bevorzugte Elektrodenmaterialien sind Graphit, Nickel, Edelstahl, Platin oder Gold. Auch Kombinationen der Materialien für Anode und Kathode sowie Mischlegierungen sind bevorzugt. Die elektrische Gleichspannung, die vorzugsweise zwischen

Anode und Kathode angelegt wird, ist abhängig von der Elektrodenkonfiguration und dem Abstand zwischen den Elektroden und ist daher individuell zu ermitteln. Die maximal mögliche Spannung, die nicht zu einer Wasserstoff- und Sauerstoffbildung führt kann anhand einer Prüfung der Entstehung von Sauerstoff an der Anode erfolgen; dabei solle die ausgewählte Spannung unterhalb der Spannung liegen, bei der Sauerstoff als Gasphase entsteht.

Insofern ist das erfindungsgemäße Verfahren auch gerichtet auf eine kathodische Abscheidung von Kohlendioxid oder anderer wasserlöslicher Gase als reine Gasphase aus einem wässrigen Akzeptormedium.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem aus einem wässrigen Akzeptormedium eine kathodische Abscheidung eines wasserlöslichen Gases erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem aus einem wässrigen Akzeptormedium ein hierin gelöstes Gas, bzw. dessen wasserlöslichen Derivate in Form einer reinen Gasphase dadurch separiert wird, indem eine kathodische Abscheidung in dem wässrigen Akzeptormedium erfolgt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart befinden sich in dem Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium eine oder mehrere Verbindungen, die mit dem aus der Akzeptorlösung transportierten Kohlendioxid, bzw. Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen reagieren und oder dieses/diese binden. Diese Verbindungen, im Folgenden **Reaktionsverbindungen** genannt, können einen flüssigen, festen oder gasförmigen Zustand haben. Ferner können sich in dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium reaktionsfördernde Verbindungen, wie z.B. Katalysatoren, befinden. Das Aufnahme- und Freisetzungsmedium kann dabei eine andere Temperatur aufweisen, als das Akzeptormedium. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart erfolgt eine Reaktion und/oder Bindung von in dem Akzeptormedium gelösten Kohlendioxid/Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen mit/an geeigneten Verbindungen, die hierin vorliegen. Bevorzugt ist die Verwendung von Reaktionsverbindungen zur Reaktion und/oder Bindung von Kohlendioxid und/oder Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen welche in der Akzeptorlösung und/oder dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium vorliegen.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem eine oder mehrere Reaktionsverbindungen zur Reaktion und/oder Bindung von Kohlendioxid und/oder Carbonat/Hydrogencarbonat -Anionen in der Akzeptorlösung und/oder dem Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium vorliegt/vorliegen.

Überraschenderweise sind die Reaktionsbedingungen, die in einer Akzeptorlösung in der Kohlendioxid bzw. Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen in hoher Konzentration vorliegt/vorliegen, für die Synthese von Kohlenstoffverbindungen, besonders geeignet. So lassen sich beispielsweise Synthesen von Carbonsäuren bewerkstelligen. Beispiele hierfür sind eine Umsetzung mit dem Grignard-Reagenz oder eine Telomerisation mit einem Palladium-Katalysator. Bevorzugte Kohlenstoffverbindungen schließen ein, sind aber nicht beschränkt auf, Ameisensäure, Methanol, Kohlenmonoxid (CO) und Formalaldehyd. Es konnte gezeigt werden, dass durch die mit dem Verfahren mögliche Anreicherung von Kohlendioxid und dessen wasserlöslichen Derivaten chemische Synthesen organischer Verbindungen unter Normaldruckbedingungen ermöglicht werden können. Ferner konnte gezeigt werden, dass Carbonsäuren, die in einem wässrigen Akzeptormedium synthetisiert werden, mittels Elektrodialyse kontinuierlich separiert werden können. Die elektrophoretisch separierten Carbonsäuren werden dabei vorzugsweise in einem wässrigen Medium aufgenommen und aus diesem wieder freigesetzt. Es konnte gezeigt werden, dass wiederum eine Lösung enthaltend gelöstes Arginin hervorragend geeignet ist, um bei dieser Verfahrensausführung als Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium für die transportierten Carbonsäuren eingesetzt zu werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren bei dem eine oder mehrere Reaktionsverbindungen zur Reaktion und/oder Bindung von Kohlendioxid und/oder Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen in der Akzeptorlösung und/oder dem Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium vorliegt/vorliegen.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem nach Schritt b) das in der Akzeptorlösung gebundene Kohlendioxid mittels einer Reaktionsverbindung zu einer Kohlenstoffverbindung umgesetzt wird.

In einer besonders bevorzugten Verfahrensausführung wird für den selektiven elektrophoretischen Transport von kurzkettigen Carbonsäuren eine Anionenaustauschmembran verwandt, die permeabel für Anionen mit einem Molekulargewicht bis 400 Da ist.

Es konnte gezeigt werden, dass der gesamte Kohlendioxid-Anteil eines Rauchgases separiert, transportiert und chemisch umgesetzt werden kann mittels eines der hierin beschriebenen Verfahren.

Umsatzverfahren

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem nach Schritt b) das in der Akzeptorlösung gebundene Kohlendioxid mittels einer Reaktionsverbindung zu einer Kohlenstoffverbindung umgesetzt wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem nach Schritt c) das in dem Aufnahme- und/oder Freisetzungsmedium gebundene oder das transportierte und freigesetzte Kohlendioxid mittels einer Reaktionsverbindung zu einer Kohlenstoffverbindung umgesetzt wird.

Somit konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, den Gehalt/die Konzentration von Kohlendioxid und von Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen in dem wässrigen Akzeptormedium unter Normaldruckbedingungen derart zu erhöhen und gleichzeitig optimale Reaktionsbedingungen herzustellen, sodass ein unmittelbarer chemischer Umsatz durch immobilisierte reaktionsfördernde Verbindungen in der Akzeptorlösung erfolgen kann. Ferner konnte gezeigt werden, dass es durch die Verwendung einer erfindungsgemäßen Verfahrensanordnung möglich ist, die aus dem chemisch Umsatz entstehenden Edukte, wie z.B. Carbonsäuren, gleichzeitig kontinuierlich zu entfernen, was beispielsweise mit einer Anionenaustauschmembran erfolgen kann. Ferner konnte gezeigt werden, dass in einer solchen Verfahrensausführung wiederum eine Lösung enthaltend guanidino- oder amidino-gruppentragende Verbindungen, die in einem Aufnahme- und Freisetzungsmedium gelöst vorliegen, geeignet sind zur Aufnahme und Transport von Carbonsäuren, die aus dem zuverigen Umsatz entstanden sind und mittels Elektrodialyse transportiert worden sind.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von Kohlenstoffverbindungen aus Kohlendioxid.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart erfolgt ein chemischer Umsatz des in dem wässrigen Akzeptor-Medium in Form von Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen gebundenem Kohlendioxid zu Carbonaten.

Überraschenderweise wurde gefunden, dass durch die erfindungsgemäße Absorption von Kohlendioxid, sowie von dessen Reaktionsprodukten mit Wasser, sich ein chemischer Umsatz mit verschiedenen Verfahrensanordnungen ausführen lässt. Beispielhaft sollen hier 3 mögliche Umsatzverfahrensarten aufgeführt werden.

Umsatzverfahren 1:

Überraschenderweise wurde gefunden, dass sich das in dem wässrigen Akzeptormedium gelöste Kohlendioxid sowie die Carbonat- und Hydrogencarbonat-Anionen unmittelbar in der Akzeptorlösung oder mit dieser zu Carbonaten umsetzen lassen. Hierzu wird der Akzeptorlösung, in der bereits Kohlendioxid bzw. dessen wasserlösliche Derivate gelöst/gebunden vorliegen, eine Lösung zugesetzt, in der kationische Verbindungen, die zur Herstellung von Carbonaten geeignet sind, in gelöster (ionisierter) Form vorliegen. Der chemische Umsatz erfolgt dabei beim Eintrag der Lösung, enthaltend Reaktionsverbindungen, in die vorzugsweise gesättigte Akzeptorlösung.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsart dieses Umsatzverfahrens erfolgt die Carbonatherstellung während der in Kontaktbringung der Akzeptorlösung, in der das Salz des zur Carbonat-/Hydrogencarbonatherstellung verwendeten Kations/ kationischen Verbindung bereits gelöst vorliegt, mit Kohlendioxid.

In einer anderen Verfahrensausführung wird die Akzeptorlösung, in der bereits Kohlendioxid bzw. dessen wasserlösliche Derivate gelöst/gebunden vorliegen, einer Lösung zugeführt, in der

Kationen/ kationische Verbindungen, die zur Herstellung von Carbonaten geeignet sind, in gelöster (ionisierter) Form vorliegen. Der chemische Umsatz erfolgt dabei beim Eintrag der gesättigten Akzeptorlösung.

Bei allen Verfahrensvarianten entwickelt sich rasch eine milchige Suspension, aus der sich spontan Feststoff sedimentativ separiert. Die Phasenseparation kann aber auch durch filtrative oder zentrifugale Verfahren aus dem Stand der Technik erfolgen.

Umsatzverfahren 2:

In einer weiteren bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt der Eintrag von Kationen/ kationischen Verbindungen, die zur Herstellung von Carbonaten/Hydrogencarbonaten geeignet sind, in die Akzeptorlösung während der in Kontaktbringung der Akzeptorlösung mit dem wasserlöslichen Gas/Gasanteil, wie z.B. Kohlendioxid oder im Anschluss hieran mittels eines elektrophoretischen Verfahrens. Vorzugsweise erfolgt dies durch eine Elektrodialyse. Vorzugsweise erfolgt dies in einer Verfahrensanordnung, bei der die Akzeptorkammer anodenwärts an eine Elektrolyt-Kammer grenzt und von dieser durch eine kationen-selektive Membran getrennt wird. In der Elektrolyt-Kammer liegen Kationen/ kationische Verbindungen in gelöster (ionisierter) Form vor, die für die Herstellung von Carbonaten/Hydrogencarbonaten geeignet sind. Durch Anlegen einer Gleichspannung erfolgt ein elektrophoretischer Transport von Kationen/ kationischen Verbindungen durch die kationen-selektive Membran in die Akzeptor-Lösung, wo diese dann zu dem entsprechenden Carbonat spontan umgesetzt werden. Dabei kann die Akzeptor-Lösung bereits mit Kohlendioxid gesättigt sein oder wird während der Elektrodialyse oder im Anschluss hieran mit Kohlendioxid in Kontakt gebracht.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart des Verfahrens liegt in einem Aufnahme- und Freisetzungsmedium ein Kation/ kationische Verbindung, das/die zur Herstellung von Carbonaten/Hydrogencarbonaten geeignet ist, in ionischer Form vor. Es erfolgt ein Transport von Kohlendioxid/ Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen durch ein anionenselektives Trennmedium (Trennmembran) aus der Akzeptorkammer in das Aufnahme- und Freisetzungsmedium. In diesem kommt es dann zur Ausbildung der entsprechenden Carbonate. Es wurde gefunden, dass diese Reaktion größtenteils unmittelbar an dem Trennmedium (Trennmembran) stattfindet. Überraschenderweise verlief diese Reaktion schneller und homogen in dem wässrigen Aufnahme- und Freisetzungsmedium ab, wenn hierin eine der erfindungsgemäßen Akzeptorverbindungen gelöst vorlag. Es konnte gezeigt werden, dass auch bipolare Membranen hierfür verwendet werden können. Bei dieser Verfahrensausführung ist es vorteilhaft, wenn in dem Aufnahme- und Freisetzungs-Medium keine anorganischen Säuren und nur eine geringer Gehalt an organischen Säuren vorliegen.

Umsatzverfahren 3

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart des Verfahrens erfolgt ein chemischer Umsatz von Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen in dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium, wobei zum einen Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen aus einer Akzeptorkammer durch ein Trennmedium (Trennmembran) in die Aufnahme- und Freisetzungskammer transportiert wird/werden und zum andern Kationen/ kationische Verbindungen, die zur Herstellung von Carbonaten/Hydrogencarbonaten geeignet sind, aus einer Elektrolytkammer, in der mindestens ein Kation/ kationische Verbindung in ionischer oder ionisierbarer Form vorliegt, in die Aufnahme- und Freisetzungskammer transportiert wird. Dabei grenzt die Aufnahme- und Freisetzungskammer kathodenseitig an die Akzeptorkammer und anodenseitig an eine Elektrolytkammer an. Vorzugsweise erfolgt der Stofftransport elektrophoretisch, wobei als Trennmedium (Trennmembran) zwischen der Akzeptorkammer und der Aufnahme- und Freisetzungskammer eine bipolare oder anionen-selektive Membran und zwischen der Aufnahme- und Freisetzungskammer und der Elektrolytkammer eine kationen-

selektive Membran eingesetzt sind. Bei dieser Verfahrensausführung ist es vorteilhaft und bevorzugt, dass in dem Aufnahme- und Freisetzungs-Medium mindestens eine Akzeptor-Verbindung gelöster Form vorliegt. Dabei ist es bevorzugt, dass in dem Aufnahme- und Freisetzungs-Medium keine anorganischen Säuren und nur ein geringer Gehalt an organischen Säuren vorliegen.

Bei allen Ausführungsarten des Umsatzverfahrens ist es vorteilhaft, die wässrige Lösung, in der der chemische Umsatz erfolgt, zu agitieren, um lokale Entmischungsprozesse zu verhindern. Bei der erfindungsgemäßen Verfahrensausführung wird während des chemischen Umsatzes kein oder praktisch kein Kohlendioxid als Gasphase freigesetzt. Eine Freisetzung kann durch eine Aufkonzentration der Gegenionen der zur Carbonatherstellung eingesetzten Verbindungen bewirkt werden. Daher ist eine Entfernung der Gegenionen aus der Prozesslösung, in der der chemische Umsatz von Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen erfolgt, vorteilhaft.

Vorzugsweise erfolgt während oder im Anschluss an die Durchführung eines des Umsatzverfahrens eine Entfernung von Gegenionen (Anionen) der eingesetzten Verbindungen, die zur Bereitstellung von Kationen/ kationischen Verbindungen für die Herstellung von Carbonaten eingesetzt werden. Diese sind beispielsweise Cl^- oder SO_4^{2-} . Hierzu wird in einer bevorzugten Verfahrensausführung die Kammereinheit, in der das Gegenion akkumuliert, anodenseitig mittels einer anionen-selektiven Membran entweder mit der Anodenkammer oder einer Spülkammer verbunden. In der Spülkammer befindet sich ein wässriges elektrisch leitendes Medium, das die Gegenionen aufnimmt und hierin entweder adsorbiert oder die Spülflüssigkeit wird durch die Anodenkammer rezirkuliert. In einer bevorzugten Ausführungsart entsteht hierdurch in der Anodenkammer eine Säure, wie z.B. Salzsäure oder Schwefelsäure, die ggf. weiter aufkonzentriert und für die Herstellung einer Lösung, enthaltend Kationen/ kationischen Verbindungen, die zur Carbonatherstellung geeignet sind, verwendet wird. Beispielsweise kann hierdurch Aluminiumchlorid oder Eisen(II)-sulfat aus metallischem Aluminium oder Eisen hergestellt werden, das dann für eine weitere Carbonat-/Hydrogencarbonatherstellung eingesetzt werden kann.

Die Durchführung des Umsatzverfahrens 2 und 3 sind dabei besonders vorteilhaft, da in dem Akzeptormedium keine Feststoffaggregate entstehen und keine weiteren Anionen eingetragen werden, die mit der Aufnahme von Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen konkurrieren können. Damit kann eine Kreisführung der Akzeptorlösung zur Aufnahme und Abgabe von Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen erfolgen, die in einem Sekundärkreislaufverfahren chemisch umgesetzt werden. Bei dem Umsatzverfahren 1, kann eine kontinuierliche oder diskontinuierliche Separation von Anionen, die nicht Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen entsprechen, durch adsorptive Verfahren oder ein Elektrodialyseverfahren erfolgen. Somit kann auch bei dem Umsatzverfahren 1 eine Kreislaufführung der Akzeptorlösung gewährleistet werden.

Es wurde ferner gefunden, dass sich die Separation von Gegenionen, wie Cl^- oder SO_4^{2-} , die in einer Akzeptorlösung im Anschluss an eine Carbonatherstellung verbleiben, mit einem geringeren energetischen Aufwand im Rahmen einer Elektrodialyse durchführen lässt, wenn dieser Lösung eine Kali- oder Natronlauge hinzugegeben wird. Vorzugsweise erfolgt dabei die Dosierung titrimetrisch bis zu dem pH der Lösung, bei dem die Gegenionen von der Akzeptorverbindung vollständig gelöst sind. Es wurde gefunden, dass dies ferner besonders vorteilhaft ist, da hierdurch in der Akzeptorlösung verbliebenen Kationen, die bei einer Rezirkulation der Akzeptorlösung zur Absorption eines wasserlöslichen Gases zugeführt werden soll, in ihre Hydroxid-Form umgewandelt werden, z.B. CaOH , wodurch sie zu einem Feststoff werden und sich sehr einfach separieren lassen und infolge dessen es bei einer Rezirkulation der Akzeptorlösung zu keiner Feststoffbildung (Carbonatbildung) in der Gaswaschvorrichtung kommt. Die Akzeptorlösung wird

im Anschluss an die Separation von Feststoff, der sich nach der Titration mit einer Kali- oder Natronlauge gebildet hat, durch eine Elektrodialyse von den enthaltenen Salzkomponenten (z.B. Na^+ , K^+ , Cl^- oder SO_4^{2-}) bereinigt. Im Anschluss kann die Akzeptorlösung zur erneuten Absorption eines wasserlöslichen Gases/Gasanteil eingesetzt werden, wobei die Aufnahmekapazität der der initial eingesetzten Akzeptorlösung entspricht.

Die erfindungsgemäßen Umsatzverfahren werden vorzugsweise in einem Temperaturbereich zwischen 5 und 70°C, mehr bevorzugt zwischen 10 und 60°C und weiter bevorzugt zwischen 15 und 50°C durchgeführt. Der pH der wässrigen Lösung, in der die Carbonat-/Hydrogencarbonatherstellung erfolgt, liegt vorzugsweise in einem Bereich zwischen 5 und 13, mehr bevorzugt zwischen 6 und 12,5 und weiter bevorzugt zwischen 7 und 12. Die Carbonat-/Hydrogencarbonatherstellung erfolgt vorzugsweise unter Normaldruckbedingungen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart erfolgt ein chemischer Umsatz, nach einem der Umsatzverfahren, indem der Umsatz bei einem erhöhten Druck und/oder erhöhter Temperatur und/oder Anwesenheit eines Katalysators erfolgt.

Die Umsatzverfahren sind aber auch geeignet, um andere Verbindungen mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen in Kontakt zu bringen und sie chemisch miteinander umzusetzen. Daher wird/werden in einer bevorzugten Verfahrensausführung eine oder mehrere Verbindungen, die im Folgenden auch Reaktionsverbindungen genannt werden, dem wässrigen Akzeptormedium hinzugegeben, um sie mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen vor und/oder während und/oder im Anschluss an eine Absorption von Kohlendioxid in der Akzeptorlösung mit der einen oder den mehreren Reaktionsverbindung(en) in Kontakt zu bringen und miteinander umzusetzen. In einer weiteren bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt ein chemischer Umsatz von Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen in einem parallel zum erfindungsgemäß erfolgenden Absorptions-Verfahren für Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen oder im Anschluss hieran über einen Transport von Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen in ein Aufnahme- und Freisetzungs-Medium in dem die eine oder mehrere Reaktionsverbindung(en) enthalten sind oder in dieses transportiert werden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem in einem wässrigen Akzeptormedium mindestens eine Reaktionsverbindung vorliegt und ein Umsatz mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen während und/oder nach der Absorption von Kohlendioxid in der Akzeptorlösung erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem mittels eines wässrigen Akzeptormediums eine Absorption von Kohlendioxid in der Akzeptorlösung erfolgt und das wässrige Absorptionsmedium, enthaltend Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen mit mindestens einer Reaktionsverbindung in Kontakt gebracht wird und ein Umsatz mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen mit der mindestens einen Reaktionsverbindung erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem in dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium für Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen mindestens eine Reaktionsverbindung vorliegt und ein Umsatz mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen hierin erfolgt, welches/welche durch ein Trennmedium (Membran) zwischen der Akzeptorkammer und der Aufnahme- und Freisetzungskammer transportiert wurde(n).

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem in dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium mindestens eine Reaktionsverbindung und mindestens eine Akzeptorverbindung vorliegen und ein chemischer Umsatz mit Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen, das/die durch ein Trennmedium (Membran) zwischen der Akzeptorkammer und der Aufnahme- und Freisetzungskammer transportiert wurde, in dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium erfolgt.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem mittels eines wässrigen Akzeptormediums eine Absorption von Kohlendioxid in der Akzeptorlösung erfolgt und bei dem das/die absorbierte(n) Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen durch ein Trennmedium (Membran) in eine Reaktionskammer enthaltend mindestens eine gelöste Reaktionsverbindung transportiert und

5 hierin mit der Reaktionsverbindung umgesetzt wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem mittels eines wässrigen Akzeptormediums eine Absorption von Kohlendioxid in einer Akzeptorlösung erfolgt und bei dem das/die absorbierte(n) Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen durch ein Trennmedium (Membran) in eine Reaktionskammer transportiert wird/werden und bei dem, vor und/oder während und/oder

10 nach dem Transport von Kohlendioxid und/oder Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen in die Reaktionskammer, mindestens eine Reaktionsverbindung aus einer Elektrolyt-Kammer, in der mindestens eine Reaktionsverbindung in gelöster Form vorliegt, in die Reaktionskammer transportiert wird, wobei der Transport der Verbindungen elektrophoretisch erfolgt.

Die in dem durch Phasenseparation erhältlichen Feststoff enthaltenen Restmengen an Akzeptorverbindungen und/oder Anionen der eingesetzten Reaktionsverbindungen, können beispielsweise durch einen Auswaschvorgang vollständig entfernt werden.

15 Es wurde gefunden, dass sich der erhältliche Feststoff sehr leicht trocknen lässt. Dies kann beispielsweise auf einer porösen Keramikmembran erreicht werden, wobei das Wasser sehr rasch von der Membran ausgenommen und transportiert wird. Die so getrockneten Carbonate oder

20 Hydrogencarbonate liegen anschließend unmittelbar als feines Pulver vor oder lassen sich zu einem solchen sehr leicht durch einen Mahlvorgang herstellen. Dabei ist der mittlere Durchmesser der Partikel $< 1\mu\text{m}$. Die so erhältlichen Carbonate oder Hydrogencarbonate liegen unmittelbar in chemisch reiner und amorpher Form vor. Rein bedeutet dabei, dass die Carbonate oder Hydrogencarbonate in einer Reinheit von $> 95\text{Gew}\%$, mehr bevorzugt von $> 98\text{Gew}\%$ und weiter

25 bevorzugt von $> 99,5\text{Gew}\%$ vorliegen.

Überraschenderweise lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch Carbonate mit Metallionen, wie Eisen-, Aluminium und Kupferionen herstellen.

Überraschenderweise konnte mit den aufgeführten Umsatzverfahren Aluminiumcarbonat hergestellt werden. Dies war beispielsweise möglich, indem Aluminiumchlorid in einer Lösung, enthaltend Arginin in einer Konzentration von $0,3\text{ mol/l}$ gelöst wurde, zum Erhalt einer 10%igen wässrigen Lösung des Aluminiumchlorids. Diese Lösung wurde unter Agitation einer Akzeptorlösung (Arginin-Lösung 2 mol/l), die mit Kohlendioxid gesättigt worden war, in einem Verhältnis von 1:4 langsam hinzugegeben, wobei eine weißliche Trübung entstand. Nach Beendigung der Hinzugabe und Agitation der Suspension, sedimentierte weißlicher Feststoff, der

30 mittels Zentrifugation separiert und anschließend 2 mal mit VE-Wasser gespült wurde. Das pastöse Material wurde konvektiv getrocknet und anschließend mechanisch zerkleinert, wodurch ein weißliches Pulver erhältlich wurde. Das Pulver konnte durch konzentrierte Salzsäure vollständig zersetzt werden, unter Entstehung von Kohlendioxid und einer Lösung aus Aluminiumchlorid. Überraschenderweise kam es weder während der Lösung des

40 Aluminiumchlorid-Salzes in der Akzeptorlösung, noch während der in Kontaktbringung der Lösungen zu keiner Gasbildung oder Erwärmung.

Überraschender Weise wurde gefunden, dass bei einer gleichzeitigen Anwesenheit von Ammoniumionen in einer erfindungsgemäßen Lösung, in der eine Herstellung von Carbonaten erfolgt, die Herstellung von Hydrogencarbonaten bevorzugt abläuft. In einer bevorzugten Ausführungsform wird der Lösung, in der eine Herstellung von Carbonaten/Hydrogencarbonaten erfolgt, Ammoniak hinzugegeben. Dies kann vor, während oder nach einer in Kontaktbringung der Lösung mit einem wasserlöslichen Gas/Gasanteil erfolgen. Vorzugsweise erfolgt diese Verfahrensausführung bei einer erfindungsgemäßen Akzeptorlösung. Ein Zusatz kann aber auch

bei den Umsatzverfahren 2 und 3 vorgenommen werden, wobei die Zugabe in der Reaktionskammer und/oder der Aufnahme- und Freisetzungskammer erfolgt. Es wurde gefunden, dass bereits geringe Konzentrationen von Ammoniak in einer der Lösungen, in denen der Umsatz zu Hydrogencarbonaten/Carbonaten erfolgt, ausreichen, um die bevorzugte Entstehung von Hydrogencarbonaten gegenüber Carbonaten stattfinden zu lassen. Die bevorzugte Konzentration von Ammoniak in der Lösung, in dem eine Hydrogencarbonat-/Carbonat-Herstellung erfolgt, liegt zwischen 0,001 und 5,0 Gew%, mehr bevorzugt zwischen 0,005 und 3,0 Gew% und weiter bevorzugt zwischen 0,01 und 1,5 Gew%. Da die bevorzugte Entstehung von Hydrogencarbonaten von der Konzentration der eingebrachten Anionen (z.B. Cl^- oder SO_4^{2-}) abhängt, die von Ammoniumionen gebunden werden, ist die optimale Konzentration von Ammoniak individuell zu ermitteln. Die entstandenen Hydrogencarbonate werden mit der gleichen Separationstechnik wie hierin beschrieben separiert und aufgereinigt. In einer bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt die Herstellung von Hydrogencarbonaten oder Carbonaten bei einer Prozessstemperatur, die vorzugsweise $< 50^\circ\text{C}$, mehr bevorzugt $< 35^\circ\text{C}$, weiter bevorzugt $< 20^\circ\text{C}$ und noch weiter bevorzugt $< 10^\circ\text{C}$ ist. In einer bevorzugten Verfahrensausführung erfolgt eine Separation der Ammoniumsalze, die sich in der Akzeptor- bzw. Reaktionslösung befinden. Dies kann vorzugsweise durch eine Elektrodialyse erfolgen.

Es wurde ferner gefunden, dass es besonders vorteilhaft ist, aus einer Elektrolytlösung, in der Kationen, bzw. kationische Verbindungen, die zur Herstellung von Carbonaten oder Hydrocarbonaten geeignet sind, sowie Anionen bzw. anionische Verbindungen vorliegen, die Anionen, bzw. anionischen Verbindungen mittels einer Reaktion mit Ammonium zu separieren. Es wurde gefunden, dass neben einer höheren Umsatzrate und Umsatzmenge von Kationen, bzw. kationischen Verbindungen zu Carbonaten oder Hydrogencarbonaten, sich hierdurch auch Verunreinigungen, die in einer Elektrolytlösung vorhanden sein können, sehr einfach entfernen lassen. Dies konnte beispielsweise gezeigt werden bei Aluminiummaterialien (u.a. Aluminiumfolie), die recycelt wurden und organische Verbindungen enthielten. Es erfolgte eine saure Hydrolyse mittels konzentrierter Salzsäure. Es entstand ein grauer Feststoff mit einem pH von 1, der sich in Wasser vollständig lösen ließ. Durch Einmischen einer 25Gew%igen Ammoniak-Lösung kam es zu einer Flockulation ab eine pH von 2,5, die sich bei einer weiteren Zugabe intensivierte. Bei einem pH von 4 wurde einer Zentrifugation der Lösung vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass auf einem weißen Zentrifugat ein dunkelbrauner Feststoff mit abgeschieden worden war. Der Überstand war transparent und hatte keinen ammoniakalischen Geruch, bei einem pH von 4. Der Überstand wurde zu einer mit Kohlendioxid gesättigten 2molaren Argininlösung gegeben wobei unmittelbar ein weißer Feststoff entstand. Im Vergleich zu einer Versuchsdurchführung mit der Lösung bei der keine Zugabe von Ammoniak erfolgt war, konnte mehr als die dreifache Menge an Feststoff aus der Akzeptorlösung abgeschieden werden, was auch daran lag, dass eine mehr als doppelt so großes Volumen der mit Ammoniak vorbehandelten Elektrolytlösung der Akzeptorlösung hinzugegeben werden konnte, bis zum Erreichen eines pH der Akzeptorlösung, bei der keine weitere Bildung von Carbonaten oder Hydrogencarbonaten mehr erfolgt. In der Feststoffanalyse wurde reines Aluminiumhydrogencarbonat gefunden. Es konnte ferner gezeigt werden, dass durch eine solche Verfahrensführung auch Sulfatanionen aus einer Elektrolytlösung entfernt werden können und die sulfatarme Elektrolytlösung einen größeren Umsatz an kationischen Verbindungen ermöglicht, als mit der Sulfat, bzw. anionenreichen Elektrolytlösung. Bei einem anderen Anwendungsfall wurde eine Regeneratflüssigkeit (pH 7) eines Kationenaustauschers, der zur Herstellung von VE-Wasser verwandt wurde, untersucht. Die Regeneration erfolgte mit einer NaCl-Lösung. Es wurde gefunden, dass es durch Einmischen von Ammoniak zu einer Flockulation kam, die mittels Zentrifugation separierbar war. Der klare Überstand (pH 9) wurde zu einer mit Kohlendioxid gesättigten Akzeptorlösung gegeben, bei es zu einer Feststoffbildung kam. In der

Feststoffanalyse wurde eine Mischung aus Calcium- und Magnesium-hydrogencarbonaten dokumentiert.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von Hydrogencarbonaten, bei dem einer Elektrolytlösung Ammonium-Ionen beigemischt werden und dann das Gemisch mit einer wässrigen Akzeptorlösung, die mit Kohlendioxid bzw. dessen wasserlöslichen Derivaten gesättigt ist, zusammengeführt und gemischt wird.

Bevorzugt ist ein Verfahren, zur Herstellung von Carbonaten und/oder Hydrogencarbonaten, bei dem aus einer Elektrolytlösung, enthalten Kationen bzw. kationische Verbindungen sowie Anionen bzw. anionische Verbindungen, Anionen bzw. anionische Verbindungen durch Ammoniumionen komplexiert und separiert werden und anschließend die anionenarme Elektrolytflüssigkeit mit einer wässrigen Akzeptorlösung, die mit Kohlendioxid, bzw. dessen wasserlöslichen Derivate zusammengeführt und gemischt wird, unter spontaner Ausbildung der Carbonate und/oder Hydrogencarbonate.

Somit lassen sich prinzipiell Carbonate und Hydrogencarbonate aus Kohlendioxid bzw. dessen Derivaten, die in einer Akzeptorlösung in reaktiver Form vorliegen bzw. durch Akzeptorverbindungen in eine reaktive Form gebracht werden, bzw. an einer solchen in reaktiver Form gebunden vorliegen, herstellen, indem diese in Kontakt gebracht werden mit Elementen oder Verbindungen, die als Kation/kationische Verbindung, d.h. in ionischer Form, vorliegen, wobei ein chemischer Umsatz erfolgt. Hiermit ist es möglich Carbonate (Hydrogencarbonate) zu gewinnen und in reiner und nicht-kristalliner Form herzustellen, wie z.B. Natriumcarbonat, Calciumcarbonat, Bariumcarbonat, Magnesiumcarbonat, Lithiumcarbonat, Cobaltcarbonat, Eisencarbonat, Kupfercarbonat, Aluminiumcarbonat, Siliciumcarbonat, Zinkcarbonat, Silbercarbonat, Bleicarbonat sowie Ammoniumcarbonat, sowie die entsprechenden Hydrogencarbonate.

Die bevorzugten Hydrogencarbonate und Carbonate, die mit einem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt werden, haben einen mittlere Partikeldurchmesser von vorzugsweise $< 2\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $< 1,5\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 1\mu\text{m}$ und noch weiter bevorzugt $< 0,5\mu\text{m}$.

Bevorzugt ist die Herstellung von Hydrogencarbonaten und Carbonaten, die in amorpher Form vorliegen.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur niederenergetischen Herstellung von Carbonaten und/oder Hydrogencarbonaten.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur niederenergetischen Herstellung von Carbonaten und/oder Hydrogencarbonaten aus erneuerbaren Rohstoffen.

Bevorzugt sich regenerative Carbonate und Hydrogencarbonate, hergestellt nach einem erfindungsgemäßen Verfahren.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von Aluminiumcarbonat.

Bevorzugt ist Aluminiumcarbonat, hergestellt nach einem erfindungsgemäßen Verfahren.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von Aluminiumhydrogencarbonat.

Bevorzugt ist Aluminiumhydrogencarbonat, hergestellt nach einem erfindungsgemäßen Verfahren.

Bevorzugt ist Aluminiumcarbonat, hergestellt nach einem erfindungsgemäßen Verfahren, wobei die Reaktionsverbindung ein Aluminiumsalz, bevorzugt Aluminiumchlorid ist.

Bevorzugt ist Aluminiumhydrogencarbonat, hergestellt nach einem erfindungsgemäßen Verfahren, wobei die Reaktionsverbindung ein Aluminiumsalz, bevorzugt Aluminiumchlorid ist.

Die Reaktionsverbindung in Form eines Aluminiumsalzes zur Herstellung von Aluminiumcarbonat und/oder Aluminiumhydrogencarbonat ist selbst nicht Aluminiumcarbonat und/oder Aluminiumhydrogencarbonat.

Der pH der Akzeptorlösung, der für die Herstellung von Carbonaten oder Hydrogencarbonaten nach einem der erfindungsgemäßen Ausführungsarten bevorzugt ist, liegt im Bereich zwischen 7 und 13,5, weiter bevorzugt zwischen 8 und 12,5 und weiter bevorzugt zwischen 8,5 und 12.

Vorzugsweise werden wässrige Lösungen von Salzen der für die Carbonat-/Hydrogencarbonatherstellung zu verwendenden Kationen/kationische Verbindungen hergestellt und zu einer Akzeptor-Lösung, die mit Kohlendioxid gesättigt ist, hinzugegeben. Die Konzentration der Salzlösung kann prinzipiell frei gewählt werden. Bei der Hinzugabe der Salzlösung sollte vorzugsweise der pH der Akzeptor-Lösung durch die Hinzugabe der Salzlösung nicht unter 4 abgesenkt werden, da sonst eine Freisetzung von gebundenem Kohlendioxid erfolgt. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart erfolgt die Einbringung der Lösung mit dem gelösten Salz unter Druck. Um lokale Absenkungen des pH zu vermeiden sollte vorzugsweise die Einbringung der Salzlösung unter Agitation erfolgen. Das Anion des Salzes kann prinzipiell frei gewählt werden. Vorzugsweise sollte eine möglichst niedermolekulare Verbindung verwandt werden. Bevorzugte Anionen sind Chlorid-, Hydroxyl-, Sulfat- und Citrationen.

Durch die Einbringung des Salzes in die Akzeptorlösung akkumulieren die verwendeten Anionen, welche elektrostatisch an eine Guanidino- oder Amidinogruppe der Akzeptorverbindung gebunden werden. Daher erfolgt vorteilhafterweise eine Entfernung der Anionen aus der Akzeptorlösung mit Verfahren aus dem Stand der Technik. Dies kann kontinuierlich z.B. mittels einer Elektrodialyse oder diskontinuierlich, z.B. mit einer Anionenaustauschverbindung, oder einem Adsorptions-/Komplexierungsmittel, erfolgen.

Somit ist das Verfahren auch gerichtet auf die Gewinnung und Herstellung von Carbonaten und Hydrogencarbonaten. Daher ist ein Verfahren bevorzugt, das charakterisiert ist durch die folgenden Schritte:

- a) Bereitstellung einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist,
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a),
- c) Umsatz des in der Akzeptorlösung, enthaltenen und gebundenen Kohlendioxids und/oder der Kohlendioxid-Derivate nach Schritt b), der dadurch erreicht wird, indem
 - der Akzeptorlösung aus Schritt b) mindestens eine kationische Verbindung hinzugegeben und hierin gelöst und gemischt wird, oder indem
 - d2) - das/die in der Akzeptorlösung enthaltene(n) und gebundene(n) Kohlendioxid und/oder der Kohlendioxid-Derivate elektrophoretisch in eine Aufnahme- und Freisetzungskammer oder eine Reaktionskammer transportiert wird/werden und hierin mit mindestens einer kationischen Verbindung in Kontakt gebracht und gemischt wird/werden,
- d) Erhalt des Umsatzproduktes mit dem Kohlendioxid und/oder den Kohlendioxid-Derivaten aus Schritt c) das in der Kammer, in der der Umsatz erfolgt ist erhältlich wird, und nachdem das Umsatzprodukt mittels eines Separationsverfahren separiert und getrocknet wird.

Somit ist das Verfahren auch gerichtet auf die Gewinnung und Herstellung von Carbonaten und Hydrogencarbonaten. Daher ist ein Verfahren bevorzugt, das charakterisiert ist durch die folgenden Schritte:

- a) Bereitstellung einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist,
- b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) bis zum Erreichen einer Kohlendioxid-Konzentration des Gases von < 100ppm,
- c) Umsatz des in der Akzeptorlösung, enthaltenen und gebundenen Kohlendioxids und/oder der Kohlendioxid-Derivate nach Schritt b), der dadurch erreicht wird, indem
 - der Akzeptorlösung aus Schritt b) mindestens eine kationische Verbindung hinzugegeben und hierin gelöst und gemischt wird, oder indem
 - d2)- das/die in der Akzeptorlösung enthaltene(n) und gebundene(n) Kohlendioxid und/oder der Kohlendioxid-Derivate elektrophoretisch in eine Aufnahme- und Freisetzungskammer

oder eine Reaktionskammer transportiert wird/werden und hierin mit mindestens einer kationischen Verbindung in Kontakt gebracht und gemischt wird/werden,

d) Erhalt des Umsatzproduktes mit dem Kohlendioxid und/oder den Kohlendioxid-Derivaten aus Schritt c) das in der Kammer, in der der Umsatz erfolgt ist erhältlich wird, und nachdem das Umsatzprodukt mittels eines Separationsverfahren separiert und getrocknet wird.

Dabei sind die hierin beschriebenen Verfahrensausführungen in weiteren Verfahrensarten weiter bevorzugt anwendbar, insbesondere:

bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem es sich bei dem Umsatz in Schritt c) um einen chemischen Umsatz mit einer Reaktionsverbindung handelt;

bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die Reaktionsverbindung in einer wässrigen Lösung, enthaltend eine Akzeptorverbindung und/oder eine Aufnahme- und Freisetzungsverbindung, zur Herstellung einer Reaktionslösung gelöst wird;

bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem der Umsatz in Schritt c) in der Akzeptorlösung erhältlich aus Schritt b) und/oder in einem Aufnahme- und Freisetzungsmedium und/oder in einem Reaktionsmedium erfolgt;

bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem ein Reaktionsmedium mindestens eine Akzeptorverbindung enthält;

bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem der Umsatz in Schritt c), in der Akzeptorlösung, erhältlich aus Schritt b) oder in einem Aufnahme- und Freisetzungsmedium nach Transport von Kohlendioxid und/oder der Kohlendioxid-Derivate aus dem Akzeptormedium gemäß Schritt b) in das Aufnahme- und Freisetzungsmedium, durch eine Zusammenbringung mit gelösten oder ungelösten Reaktionsverbindungen erfolgt;

bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem der Umsatz in Schritt c), der in einem Aufnahme- und Freisetzungsmedium und/oder in einem Reaktionsmedium erfolgt, während oder im Anschluss an einen Transport von Kohlendioxid und/oder den Kohlendioxid-Derivaten aus der Akzeptorlösung, erhältlich aus Schritt b), in das jeweilige Medium;

bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem der Transport von Kohlendioxid und/oder den Kohlendioxid-Derivaten aus der Akzeptorlösung, erhältlich aus Schritt b) in ein Aufnahme- und Freisetzungsmedium und/oder in ein Reaktionsmedium, durch einen elektrophoretischen Prozess erfolgt;

bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem der chemische Umsatz in Schritt c) mit einem Kation/ einer kationischen Verbindung erfolgt, welche(s) die Bildung eine Carbonats oder von Hydrogencarbonat ermöglicht;

bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem in Schritt d) chemisch reine Carbonate und/oder Hydrogenkarbonate in amorpher Form erhalten werden.

Überraschenderweise wurde gefunden, dass sich durch das erfindungsgemäße Verfahren zum Lösen und Transportieren von Kohlendioxid, in Verbindung mit einem der hierin offenbarten Umsatzverfahren, Kohlendioxid und oder dessen Derivate zu Methan sowie zu weiteren Kohlenwasserstoff-Verbindungen umsetzen lässt/lassen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird hierzu das Umsatzverfahren 3 verwandt. In einer Ausführungsart erfolgt dies in einer Elektrodialyse-Vorrichtung, bei der zwischen einer Kathoden- und einer Anodenkammer eine oder multiple Kammersequenzen hintereinander gestapelt sind, mit der Anordnung: Akzeptor-Kammer / Reaktions-Kammer/Elektrolyt-Kammer. Dabei wird die Elektrolyt-Kammer vorzugsweise von der Elektrolyt-Lösung durchflossen, die durch die Anodenkammer zirkuliert wird. Vorzugsweise liegt in der Elektrolytlösung mindestens eine Verbindung vor, die eine Elektrolyse erleichtert oder katalysiert. In der Reaktionskammer liegt vorzugsweise ein Medium vor, das geeignet ist Anionen und Kationen aufzunehmen und reversibel zu binden. In einer Ausführungsart werden hierzu ionische Flüssigkeiten verwandt. Bevorzugt sind

Ionische Flüssigkeiten, bei denen die Salzverbindungen Wasserstoffionen (Protonen) in einem molaren Verhältnis von ≥ 1 binden können. Dies kann beispielsweise durch eine oder mehrere tertiäre oder quartäre Stickstoffverbindungen erfolgen. In einer weiteren Ausführungsart sind in der ionischen Flüssigkeit Verbindungen gelöst, die Wasserstoff-Ionen (Proton) binden können. In einer weiteren Ausführungsart sind in der ionischen Flüssigkeit Verbindungen enthalten, die eine katalytische oder reaktionsfördernde Eigenschaft aufweisen. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsart erfolgt eine Zirkulation der Elektrolytlösung zwischen den Elektrolyt-Kammern und der Kathodenkammer. Vorzugsweise befinden sich zwischen der Akzeptor-Kammer und der Reaktionskammer eine offenporige oder eine bipolare Membran und zwischen der Elektrolytkammer und der Reaktions-Kammer eine kationen-selektive Membran. Es konnte gezeigt werden, dass bei einer derartigen Anordnung es während einer Gleichspannungsanlage zwischen Anode und Kathode zur Bildung von Methan in der Reaktionskammer kommt, das aus dieser spontan entweicht.

Vorteilhafterweise kann bei einer erfindungsgemäßen Verfahrensdurchführung der im Rahmen der Elektrodialyse entstehende Wasserstoff, während oder im Anschluss an eine erfindungsgemäße Verfahrensdurchführung, für eine der hierin offenbarten Reaktionen der Umsatzverfahren unmittelbar zur Verfügung gestellt und in dem Prozess umgesetzt werden.

Somit ist das Verfahren auch gerichtet auf die Gewinnung und Herstellung von Kohlenstoff-Verbindungen. Daher ist ein Verfahren bevorzugt, das charakterisiert ist durch die folgenden Schritte:

a) Bereitstellung einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist,

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a),

c) Umsatz des in der Akzeptorlösung, enthaltenen und gebundenen Kohlendioxid und/oder der Kohlendioxid-Derivate nach Schritt b) oder

Transport des in der Akzeptorlösung, enthaltenen und gebundenen Kohlendioxid und/oder der Kohlendioxid-Derivate nach Schritt b) und d) Umsatz in einem Aufnahme- und Freisetzungs-Medium oder einem Reaktionsmedium,

d) Erhalt des Umsatzproduktes mit dem Kohlendioxid und/oder den Kohlendioxid-Derivaten aus Schritt c), durch Phasentrennung oder eine elektrophoretische Stofftrennung.

Somit ist das Verfahren auch gerichtet auf die Gewinnung und Herstellung von Kohlenstoff-Verbindungen. Daher ist ein Verfahren bevorzugt, das charakterisiert ist durch die folgenden Schritte:

a) Bereitstellung einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist,

b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a) bis zum Erreichen einer Sättigung des Akzeptor-Mediums mit Kohlendioxid,

c) Umsatz des in der Akzeptorlösung, enthaltenen und gebundenen Kohlendioxid und/oder der Kohlendioxid-Derivate nach Schritt b) oder

Transport des in der Akzeptorlösung, enthaltenen und gebundenen Kohlendioxid und/oder der Kohlendioxid-Derivate nach Schritt b) und d) Umsatz in einem Aufnahme- und Freisetzungs-Medium oder einem Reaktionsmedium,

d) Erhalt des Umsatzproduktes mit dem Kohlendioxid und/oder den Kohlendioxid-Derivaten aus Schritt c), durch Phasentrennung oder eine elektrophoretische Stofftrennung.

Somit lassen sich überaus vorteilhafte Effekte durch Verwendung einer Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine gelöste Akzeptor-Verbindung, enthaltend mindestens eine Guanidino- oder Amidinogruppe, erzielen. Insbesondere kann eine hoch effektive und selektive Entfernung von Kohlendioxid aus einem Gas/Gasgemisch bei Normaldruck und Raumtemperatur erfolgen. Im

Akzeptormedium gebundenes Kohlendioxid sowie Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen verbleiben hierin drucklos (bei Normaldruck) über einen Zeitraum von mindestens 6 Monaten und lassen sich in dieser Form transportieren. Ferner kann mit einem Akzeptormedium, in dem Kohlendioxid und Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen gelöst vorliegen, eine Reaktionslösung bereitgestellt werden, in der unmittelbar eine chemische Umsetzung des Kohlendioxids und von Carbonat- und/oder Hydrogencarbonat-Anionen erfolgen kann. Zudem eignet sich das Akzeptormedium zur Lösung und Transport von Carbonsäuren, die aus einem Umsatz von Kohlendioxid entstehen. Ferner kann die Akzeptorlösung beliebig oft mit Kohlendioxid gesättigt werden und anschließend diese wieder entfernt werden, ohne einen Verbrauch oder Verlust der Akzeptorverbindung.

Definitionen

Akzeptormedium

Der Begriff „Akzeptormedium“ bezieht sich auf eine Flüssigkeit oder ein Lösungsmittel, in dem mindestens eine gelöste Verbindung vorliegt, die zur Bindung von Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten in der Lage ist. Diese Verbindung wird hierin auch als „Akzeptorverbindung“ bezeichnet. Die Akzeptorverbindung weist mindestens eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe auf. Das Akzeptormedium kann dabei Reaktionsverbindungen und auch andere Verbindungen enthalten. Ist die Flüssigkeit oder das Lösungsmittel, in dem mindestens eine gelöste Verbindung vorliegt, Wasser wird das „Akzeptormedium“ hierin auch als „wässriges Akzeptormedium“ oder als „Akzeptorlösung“ bezeichnet. Die Begriffe „wässriges Akzeptormedium“ und „Akzeptorlösung“ oder auch „wässrige Akzeptorlösung“ werden hierin synonym verwendet.

Akzeptorlösung

Unter einer Akzeptorlösung wird hierin verstanden ein wässriges Medium, in dem mindestens eine gelöste Verbindung vorliegt, die zur Bindung von Kohlendioxid, Kohlendioxid-Derivaten in der Lage ist. Diese Verbindung wird hierin auch als „Akzeptorverbindung“ bezeichnet. Die Akzeptorverbindung weist mindestens eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe auf. Die Akzeptorlösung kann dabei Reaktionsverbindungen und auch andere Verbindungen enthalten.

Akzeptorverbindung

Der Begriff „Akzeptorverbindung“, wie hierin verwendet, bezieht sich auf eine chemische Verbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist. Insbesondere bevorzugt ist die Akzeptorverbindung Arginin.

Kationischen Gruppen

Der Begriff „kationische Gruppen“ bezieht sich auf funktionelle chemische Gruppen, unter Aufnahme eines Protons eine positive elektronische Ladung aufweisen. „Kationische Gruppen“ stellen daher positiv geladene funktionelle Gruppen dar. „Kationische Gruppen“ werden hierin auch als positive „Ladungsgruppe“ bezeichnet. Bevorzugte chemische Verbindungen die „kationische Gruppen“ aufweisen sind hierin bevorzugt Aminosäuren und/oder Derivate dieser, die mindestens eine Guanidino- und/oder Amidinogruppe enthalten.

Kationischen Verbindungen

Der Begriff „kationische Verbindungen“, wie hierin verwendet, bezieht sich auf Stoffe, die eine positive elektronische Ladung haben. Als „kationische Verbindungen“ werden hierin insbesondere Salze von Alkalimetallen und Erdalkalimetallen bezeichnet. Insbesondere von Alkalimetallen und Erdalkalimetallen, die Carbonate bzw. Hydrogencarbonate bilden können. Bevorzugte „kationische Verbindungen“ sind anorganische und organische Salze von Alkalimetallen und Erdalkalimetallen, die praktisch in Wasser unlösliche oder schwerlösliche Carbonate oder Hydrogencarbonate bilden. Durch Zugabe von „kationischen Verbindungen“ in eine wässrige Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid oder in eine wässrige Aufnahmelösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid, können selektiv Alkalimetall- und Erdalkalimetall-Carbonate oder –Hydrogencarbonate

erhalten werden. Neben den Alkalimetall- und Erdalkalimetallsalzen können wie hierin offenbart auch noch andere Metallkationen zum Umsatz mit Carbonat-Anionen oder Hydrogencarbonat-Anionen eingesetzt werden. Beispiele von hierin bevorzugten „kationischen Verbindungen“ schließen ein, sind aber nicht beschränkt auf, Calciumchlorid, Eisenchlorid und Aluminiumchlorid. Beispiele von Stoffen mit denen Carbonate bzw. Hydrogencarbonate wie Natriumcarbonat, Calciumcarbonat, Bariumcarbonat, Magnesiumcarbonat, Lithiumcarbonat, Cobaltcarbonat, Eisencarbonat, Kupfercarbonat, Aluminiumcarbonat, Siliciumcarbonat, Zinkcarbonat, Silbercarbonat, Bleicarbonat sowie Ammoniumcarbonat, sowie die entsprechenden Hydrogencarbonate, als auch Aluminiumcarbonat oder Aluminiumhydrogencarbonat erhalten werden können, schließen ein, sind aber nicht beschränkt auf, Natrium, Calcium, Barium, Magnesium, Lithium, Cobalt, Eisen, Kupfer, Aluminium, Silicium, Zink, Silver und Blei. Salze von Natrium, Calcium, Barium, Magnesium, Lithium, Cobalt, Eisen, Kupfer, Aluminium, Silicium, Zink, Silber und Blei können als kationische Verbindung hierin verwendet werden. Besonders bevorzugte kationische Verbindungen sind hierin Aluminiumsalze wie Aluminiumchlorid.

Kohlendioxid-Derivate

Unter dem Begriff „Kohlendioxid-Derivate“ werden hierin alle Verbindungen bezeichnet, die durch einen Lösungsvorgang von Kohlendioxid in Wasser entstehen oder entstehen können. Insbesondere gehören hierzu H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} . Kohlendioxid (CO_2) bildet Kohlensäure in Wasser. Kohlensäure (H_2CO_3) ist eine anorganische Säure und das Reaktionsprodukt ihres Säureanhydrids Kohlendioxid (CO_2) mit Wasser.

Reaktionsverbindungen

Unter dem Begriff Reaktionsverbindungen werden solche Verbindungen verstanden, die eine Reaktion mit Kohlendioxid und/oder Kohlendioxid-Derivaten vollziehen oder bewirken. Dabei wird Kohlendioxid und/oder die Kohlendioxid-Derivate chemisch umgesetzt und/oder gebunden. Hierin bevorzugte „Reaktionsverbindungen“ sind die oben definierten „kationischen Verbindungen“.

Aufnahme- und Freisetzungsmedium

Unter dem Begriff Aufnahme- und Freisetzungsmedium ist ein Gas, eine Flüssigkeit oder ein Feststoff gemeint, das/die/der Kohlendioxid und oder Kohlendioxid-Derivate adsorbiert, absorbiert, physisorbiert bzw. bindet oder welches/welche in dem diese umsetzt und/oder freigesetzt werden. Vorzugsweise sind in diesem Medium Verbindungen enthalten, die eine oder mehrere der vorgenannten Eigenschaften bewirken. Das Aufnahme- und Freisetzungsmedium kann dabei Reaktionsverbindungen, Akzeptorverbindungen und auch andere Verbindungen enthalten. Hierin bevorzugt sind insbesondere wässrige Aufnahme- und Freisetzungsm Medien. Der Begriff „Aufnahme- und Freisetzungsmedium“, wie hierin verwendet, bezieht sich auf ein Medium in dem das gebundene Kohlendioxid freigesetzt werden kann. Die Freisetzung von Kohlendioxid kann hierbei direkt bei Eintritt der Kohlendioxid-Derivate, wie z.B. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen, in das Aufnahme- und Freisetzungsmedium erfolgen. Bevorzugt ist, dass die Freisetzung von Kohlendioxid aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium erfolgt, nachdem dieses in eine Freisetzungsvorrichtung oder Freisetzungskammer eingeleitet worden ist.

Elemente bzw. Elementmoleküle

Der Begriff „Element“, wie hierin verwendet, bezieht sich auf die bekannten chemischen Elemente, die im Periodensystem (PSE) nach steigender Kernladungszahl angeordnet werden. „Elementmoleküle“ sind Moleküle, die lediglich aus zwei oder mehreren Atomen eines einzigen chemischen Elementes bestehen. Im Gegensatz zu Elementmolekülen bestehen alle anderen Moleküle aus mindestens zwei Atomen unterschiedlicher chemischer Elemente (wie beispielsweise Kohlendioxid (CO_2) aus Kohlenstoff und Sauerstoff). Als „gasförmige Elemente“ bzw. „gasförmige Elementmoleküle“ werden hierin die Elemente bzw. Elementmoleküle bezeichnet, die unter Normalbedingungen gasförmig sind. Dies sind die sechs Edelgase He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn und die

weiteren fünf unter Normalbedingungen gasförmigen Elemente: Wasserstoff (H_2), Stickstoff (N_2), Sauerstoff (O_2), Fluor (F_2) und Chlor (Cl_2).

Molekulare Verbindungen

Der Begriff „molekulare Verbindungen“ bezieht sich auf Moleküle aus mindestens zwei Atomen unterschiedlicher chemischer Elemente (wie beispielsweise Kohlendioxid (CO_2) aus Kohlenstoff und Sauerstoff). Der Begriff „gasförmige molekulare Verbindungen“ oder auch kurz „gasförmige Verbindungen“ bezieht sich auf molekulare Verbindungen die unter Normalbedingungen gasförmig sind. Beispiele von „gasförmigen molekularen Verbindungen“ die unter unter Normalbedingungen gasförmig sind schließen ein, sind aber nicht beschränkt auf Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Ammoniak (NH_3), Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (auch bezeichnet als Lachgas) (N_2O), Schwefeldioxid (SO_2), Chlorwasserstoff (HCl), Ethan (CH_3CH_3), Propan ($CH_3CH_2CH_3$), Butan ($CH_3CH_2CH_2CH_3$), Acetylen ($CH\equiv CH$) etc.

Gas/Gasphase

Unter den Begriffen „Gas“ oder „Gasphase“ werden hierin eine gasförmige Phase eines Elements oder einer chemischen Verbindung verstanden, die als Reinsubstanz oder als Gemisch vorliegt. Beispiele für ein Reingas sind gasförmiges Kohlendioxid, Methan oder Wasserstoff. Beispiele für Gasgemische sind Luft, Verbrennung-/Rauchgas, Biogas, Klärgas oder saures Erdgas. Neben fest und flüssig ist gasförmig einer der drei klassischen Aggregatzustände. Für einige Elemente und Verbindungen genügen bereits die Standardbedingungen (Temperatur $20^\circ C$, Druck $101.325 Pa$), um als Gas vorzuliegen. Der Begriff „Luft“ bezeichnet hierin das Gasgemisch der Erdatmosphäre. Trockene Luft besteht hauptsächlich aus den zwei Gasen Stickstoff (rund 78,08 Vol.-%) und Sauerstoff (rund 20,95 Vol.-%). Daneben gibt es noch die Komponenten Argon (0,93 Vol.-%), Kohlenstoffdioxid (0,04 Vol.-% oder 400 ppm) und andere Gase in Spuren in Konzentrationen von unter 0,002 Vol.-% bzw. 20 ppm wie Neon (Ne), Helium (He), Methan (CH_4), Krypton (Kr), Distickstoffdioxid (N_2O), Kohlenmonoxid (CO), Xenon (Xe), verschiedene Fluorchlorkohlenstoffe (FCKW) wie Dichlordifluormethan, Trichlorfluormethan, Chlordifluormethan, Trichlortrifluorethan, 1,1-Dichlor-1-fluorethan, 1-Chlor,1-1-difluorethan, wie auch Tetrachlorkohlenstoff, Schwefelhexafluorid, Bromchlordifluormethan und Bromtrifluormethan.

Wasserlösliche Gase

Bei der Lösung von Gasen in Flüssigkeiten bezeichnet der Begriff Löslichkeit einen Koeffizienten, der die in der Flüssigkeit gelöste Gasmenge bei einem bestimmten Druck des Gases angibt, wenn sich das Gas zwischen Gasraum und Flüssigkeit im Diffusionsgleichgewicht befindet, d. h. genau so viel hinein wie heraus diffundiert. Die Löslichkeit ist von der Temperatur, vom Druck und bei einigen Verbindungen vom pH-Wert abhängig. Der Begriff „Wasserlösliche Gase“, wie hierin verwendet, bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die gasförmige molekulare Verbindung bei Kontakt mit Wasser mit diesem chemisch reagiert, z. B. unter Ausbildung eines Säureanhydrids oder einer Säure. Sie liegt dann in Wasser als organische oder anorganische Säure oder als Anion vor. Bevorzugte „wasserlösliche Gase“ sind hierin insbesondere die Gase die unter den Begriff „saure Gase“ fallen, die bei einer Lösung in Wasser eine Säure bzw. eine schwache Säure bilden. Die unter den Begriff „wasserlösliche Gase“ fallenden Gase sind hierin zu unterscheiden von Gasen, die bei Kontakt mit Wasser nicht mit Wasser chemisch reagieren. Beispielsweise weist Methan (CH_4) eine Löslichkeit von 36,7 ml/l in Wasser bei Normaldruck und bei $20^\circ C$. Methan (CH_4) reagiert dabei nicht mit Wasser und ist daher kein „wasserlösliches Gas“.

Wasserlöslicher Gasanteil

Unter dem Begriff „wasserlöslicher Gasanteil“ fallen alle gasförmigen Verbindungen, die in einer Gasphase vorliegen, und die bei einem Kontakt und/oder einer Mischung mit Wasser, eine in Wasser lösliche Verbindung mit Wasser ausbilden. Beispiele sind Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff, Stickstoffmonoxid, Distickstoffmonoxid, Chlorwasserstoff oder Chlordioxid.

Der „wasserlösliche Gasanteil“ schließt daher „Wasserlösliche Gase“ und insbesondere „saure Gase“ ein.

Saure Gase

Der Begriff „saures Gas“, wie hierin verwendet, bezieht sich auf ein Gas oder auch Gasgemisch, welches bei einer Lösung in Wasser eine Säure bzw. eine schwache Säure bildet. Saure Gase sind oft korrosiv und ätzend sowie giftig und stellen insofern eine Gefahr für den Menschen und die Umwelt dar. Saure Gase können natürlichen Ursprungs sein oder sie können als erwünschte oder unerwünschte Reaktionsgase in industriellen Prozessen entstehen. Beispiele für saure Gase schließen ein, sind aber nicht beschränkt auf Kohlendioxid (CO₂) (bildet Kohlensäure und Hydrogencarbonate in Wasser), Schwefeldioxid (SO₂) (bildet Schweflige Säure in Wasser), Schwefelwasserstoff (H₂S), Chlorwasserstoff (HCl) (bildet Salzsäure in Wasser), Stickstoffdioxid (N₂O) (bildet Salpetersäure in Wasser), Cyanwasserstoff (HCN) (bildet Blausäure in Wasser), Bromwasserstoff (HBr) (bildet Bromwasserstoffsäure in Wasser), Selenoxid (SeO₂) (bildet Selenige Säure in Wasser).

Basische Aminosäuren

Der Begriff „basische Aminosäuren“, wie hierin verwendet, bezieht sich auf Aminosäuren, die im Aminosäure-Rest (Seitenkette) eine Aminogruppe oder N-Atome mit freien Elektronenpaaren aufweisen. Nehmen diese N-Atome ein Proton auf, so bildet sich eine positiv geladene Seitenkette. Die Aminosäuren Histidin, Lysin und Arginin gehören zu den basischen Aminosäuren. Erfindungsgemäß bevorzugt sind hierin basische Aminosäuren, die mindestens eine Guanidino- und/oder Amidinogruppe tragen, und insbesondere bevorzugt ist die basische Aminosäure Arginin.

Elektrophoretische Separation

Der Begriff „elektrophoretische Separation“, wie hierin verwendet, bezieht sich auf eine elektrochemische Separation mittels einer Trennmembran in einem elektrochemischen Verfahren wie der Elektrodialyse.

Im Elektrolyseverfahren, wird eine Elektrolyse in einer Elektrolysezelle durchgeführt. Eine Elektrolysezelle besteht aus zwei Elektroden z.B. aus Kohlenstoff oder Platin und einer leitfähigen Flüssigkeit. Die mit dem Pluspol verbundene Elektrode wird als Anode bezeichnet, die mit dem Minuspol verbundene Elektrode wird Kathode genannt. Die Kationen wandern darauf zur negativ geladenen Kathode und die Anionen wandern zur positiv geladenen Anode. Die hierin bei der „elektrophoretische Separation“ verwendete „elektrophoretische Separationszelle“ besteht mindestens aus zwei Kammern, die durch eine Trennmembran voneinander getrennt sind. In der „Akzeptorkammer“ befindet sich die erfindungsgemäße wässrige Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist. Das gebundene Kohlendioxid/die Kohlendioxid-Derivate werden bei Anlegen einer Gleichspannung an die „elektrophoretische Separationszelle“ über die Trennmembran in ein Aufnahme- und Freisetzungsmedium in der „Aufnahme- und Freisetzungskammer“ transportiert. Die „elektrophoretische Separation“ basiert auf dem Prinzip des Elektrodialyse-Verfahrens.

Elektrodialyse

Die Elektrodialyse ist ein Verfahren zur Trennung von Ionen in Salzlösungen. Die dazu notwendige Trennung der Ionen erfolgt durch ein über Anode und Kathode angelegtes elektrisches Feld sowie Ionenaustauschmembranen bzw. semipermeablen, ionenselektiven Membranen. Die Elektrodialyse ist ein elektrochemisch getriebener Membranprozess in dem Ionenaustauschermembranen in Kombination mit einer elektrischen Potentialdifferenz benutzt werden, um ionische Spezies von ungeladenen Lösungsmitteln oder Verunreinigungen abzutrennen. Eines der gängigsten Membranmaterialien ist Polystyrol (PS). Um die Ionenselektivität zu erreichen, kann es an der Oberfläche modifiziert durch den Einbau von quartären Aminen für anionenselektive Membranen und von Carbonsäure- oder

Sulfonsäuregruppen für kationenselektive Membranen modifiziert werden. Einige Membrantypen sind durch Polyvinylchlorid (PVC), Polypropylen (PP) oder Polyethylenterephthalat (PET) mechanisch verstärkt.

Trennmedium

- 5 Der Begriff „Trennmedium“ wie hierin verwendet betrifft ein Medium über das ein selektiver Stofftransport stattfinden kann. Ein „Trennmedium“, wie hierin verwendet, kann daher auch als Trennmembran oder Transportmembran bezeichnet werden.

Trennmembran

- 10 Eine „Trennmembran“ oder auch kurz „Membran“, wie hierin verwendet, bezieht sich allgemein auf eine dünne Schicht eines Materials, welche den Stofftransport durch diese Schicht beeinflusst. In der Separationstechnik verwendet man Membranen als Trennschicht. Membranen sind können unterschiedlich durchlässig sein: impermeabel, selektiv permeabel, unidirektional permeabel oder omni-permeabel. Der überwiegende Teil der kommerziellen Membranen besteht aus Polymeren. Dabei kommt eine Vielzahl verschiedener Kunststoffe zum Einsatz, an die je nach
- 15 Anwendungsgebiet sehr unterschiedliche Ansprüche gestellt werden. Die beiden verbreitetsten Formen stellen die Wickelmembranen und Hohlfasern dar. Lipophile Polymere Membranen können den Durchtritt einiger Gase oder organischen Stoffe gestatten, sind jedoch unpassierbar für Wasser und wässrige Lösungen. In Polymerschichten können jedoch auch ionische Gruppen in einem Polymer die Passage von Ionen durch die Membran verhindern. Derartige Membranen werden beispielsweise in der Elektrodialyse eingesetzt. Andere Membranen sind nur für Wasser und bestimmte Gase durchlässig. Häufig verwendete Membranmaterialien sind: Polysulfone, Polyethersulfon (PES) Cellulose, Celluloseester (Celluloseacetat, Cellulosenitrat), Regenerierte Cellulose (RC), Silikone, Polyamide ("Nylon", genauer: PA 6, PA 6.6, PA 6.10, PA 6.12, PA 11, PA 12), Polyamidimid, Polyamid Harnstoff, Polycarbonate, Keramik, Edelstahl, Silber, Silizium,
- 20 Zeolithe (Alumosilicate), Polyacrylnitril (PAN), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyvinylidenfluorid (PVDF), Polyvinylchlorid (PVC), Polypiperazinamid. Keramische Membranen finden vor allem in Bereichen Anwendung, die entweder hohe chemische oder thermische Ansprüche an den Filter stellen.

Trennmembranen für die elektrophoretische Separation

- 30 Der Begriff „Trennmembran“, wie hierin verwendet, betrifft ein Trennmedium, das bei der elektrophoretischen Separation bzw. der Elektrolyse zum Einsatz kommt. Bevorzugt ist die Trennmembran eine offenporige Membran, weiter bevorzugt eine offenporige mesoporöse Membran. In einigen Ausführungsformen ist die Trennmembran eine keramische Filterplatte. In einigen Ausführungsformen ist die Trennmembran eine anionenselektive Membran. Als
- 35 Trennmembran können als aus dem Stand der Technik geeigneten Trennmembranen verwendet werden. Aus dem Stand der Technik in ionenselektive Trennmembranen und bipolare Trennmembranen wohl bekannt.

Trennmembranen für das in Kontaktbringen von Kohlendioxid-haltigem Gas mit Akzeptormedium

- 40 Wie hierin verwendet beziehen sich Trennmedien für das in Kontaktbringen von Kohlendioxid-haltigem Gas mit Akzeptormedium auf „Trennmembranen“ die für einen Stoffaustausch zwischen einer Gas- und Flüssigphase geeignet sind. Diese Trennmedien werden hierin auch als „Gas-Flüssig-Trennmembran“ bezeichnet. Das in Kontaktbringen Kohlendioxid-haltigem Gas mit Akzeptormedium wird hierin auch als „indirektes in Kontaktbringen“ bezeichnet. Die Gas-Flüssig-Trennmembran kann in Form eines Membrankontakts bereitgestellt werden. Für ein
- 45 indirektes in Kontaktbringen eines Kohlendioxid-haltigen Gases mit Akzeptormedium werden hierin bevorzugt Membrankontakts eingesetzt. Als Gas-Flüssig-Trennmembran kann auch eine Membranfolie bereitgestellt werden, die auf einem Trägermaterial angebracht wird. Solche Gas-Flüssig-Trennmembranen sind aus dem Stand der Technik bekannt. Bevorzugte Gas-Flüssig-

Trennmembranen weisen eine einer mittleren Porengröße von $> 10\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $> 50\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 200\mu\text{m}$ auf. Gas-Flüssig-Trennmembranen mit einer mittleren Porengröße von $200\mu\text{m}$ sind besonders bevorzugt. Bevorzugte Gas-Flüssig-Trennmembranen weisen eine Membrandicke von $< 300\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $< 200\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $< 50\mu\text{m}$ und noch weiter bevorzugt $< 25\mu\text{m}$ auf. Bevorzugte Gas-Flüssig-Trennmembranen weisen offene Kanäle mit einem mittleren Kanaldurchmesser von $> 10\mu\text{m}$, mehr bevorzugt $> 50\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 100\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 150\mu\text{m}$, weiter bevorzugt $> 200\mu\text{m}$ noch weiter bevorzugt $> 250\mu\text{m}$ und am meisten bevorzugt $> 300\mu\text{m}$ auf. Bevorzugte Gas-Flüssig-Trennmembranen weisen eine Porosität von $> 50\%$, mehr bevorzugt von $> 60\%$, weiter bevorzugt von $> 70\%$, weiter bevorzugt von $> 80\%$ und noch weiter bevorzugt von $> 90\%$ auf. Porosität ist dabei definiert als die Anzahl an Poren pro Flächeneinheit. Geeignete Materialien für Gas-Flüssig-Trennmembranen schließen ein, sind aber nicht beschränkt auf PTFE (Polytetrafluorethylen) oder PC (Polycarbonat) oder Keramik.

Gaswäsche

Wird ein Gas- oder Luftstrom durch eine Waschflüssigkeit geleitet, so spricht man von Gaswäsche oder auch von Absorption. Dabei werden die zu absorbierenden Gaskomponenten (Absorptiv – ungebunden, Absorbt – gebunden) in der Waschflüssigkeit (Absorbens – unbeladen, Absorbat – beladen) gebunden.

Salze

Der Begriff „Salze“, wie hierin verwendet, bezeichnet chemische Verbindungen, die aus positiv geladenen Ionen (Kationen) und negativ geladenen Ionen (Anionen) aufgebaut sind. Zwischen diesen Ionen liegen ionische Bindungen vor. Bei „anorganischen Salzen“ werden die Kationen häufig von Metallen und die Anionen häufig von Nichtmetallen oder deren Oxiden gebildet. Als „organische Salze“ bezeichnet man alle Verbindungen, bei denen mindestens ein Anion oder Kation eine organische Verbindung ist; mit Ausnahme der Carbonate, die sich von der per Definition anorganischen Kohlensäure (H_2CO_3) ableiten.

Normalbedingungen

Der Ausdruck „Normalbedingungen“ oder STP-Bedingungen (*standard temperature and pressure*) bezieht sich hierin auf einen „Normaldruck“ von $101.325\text{ Pa} = 1,01325\text{ bar} = 1\text{ atm} = 760\text{ Torr}$ und auf eine „Standardtemperatur“ von $293,15\text{ K} \pm 20^\circ\text{C}$. Der Begriff „Atmosphärendruck“ bezieht sich auf den Luftdruck an einem beliebigen Ort der Erdatmosphäre. Der mittlere Luftdruck der Atmosphäre (der „Atmosphärendruck“) auf Meereshöhe beträgt normgemäß $101.325\text{ Pa} = 101,325\text{ kPa} = 1013,25\text{ hPa} \approx 1\text{ bar}$. Die Begriffe „Atmosphärendruck“ und „Normaldruck“ werden hierin synonym verwendet. Der Begriff „drucklos“, wie hierin verwendet, bezieht sich ebenfalls auf die Begriffe „Atmosphärendruck“ und „Normaldruck“. Wird in dieser Anmeldung beschrieben, dass ein Verfahrensschritt „drucklos“ durchgeführt wird, entspricht dies einer Verfahrensdurchführung unter „Atmosphärendruck“ und „Normaldruck“. Der Begriff „keine Druckbeaufschlagung“, wie hierin verwendet, bezieht sich ebenfalls auf die Begriffe „Atmosphärendruck“ und „Normaldruck“. Wird in dieser Anmeldung beschrieben, dass ein Verfahrensschritt „ohne Druckbeaufschlagung“ durchgeführt wird, entspricht dies einer Verfahrensdurchführung unter „Atmosphärendruck“ und „Normaldruck“.

Gaswaschvorrichtungen

Ein Gaswäscher, Nassabscheider oder Absorber ist ein verfahrenstechnischer Apparat, in dem ein Gasstrom mit einem Flüssigkeitsstrom in Kontakt gebracht wird, um Bestandteile des Gasstroms in der Flüssigkeit aufzunehmen. Bei den übergehenden Bestandteilen des Gasstromes kann es sich um feste, flüssige oder gasförmige Stoffe handeln. Für die Abtrennung von CO_2 aus Rauchgasen oder Biogasen können aus dem Stand der Technik bekannte Gaswaschvorrichtungen eingesetzt

werden. Eine Gaswaschvorrichtung kann eine Vorwäsche-Gaswaschkolonne umfassen. Es wird unterschieden zwischen Festbettkolonnen, Füllkörperkolonnen, Bodenkolonnen und Sprühnebelkolonnen.

Reingas

- 5 Der Begriff „Reingas“, wie hierin verwendet ergibt sich aus der Aufteilung in die folgenden Reinheitsklassen:

Rohgas (auch crudum, crd.) – ungereinigte Qualität

Technisches Gas – Das Gas wird für allgemeine technische Zwecke eingesetzt, in der Regel großtechnisch hergestellt und kann Fremdgeruch und -farbe aufweisen.

- 10 Gas zur Synthese – Das Gas enthält kleinere Mengen an Verunreinigungen, die bei Synthesen zumeist nicht stören, da bei Herstellung des Syntheseprodukts eine Reinigung stattfindet.

Reines Gas (purum) – chemisch reine Qualität mit Stoffgehalt von > 98,5 Vol%, sofern nicht anders angegeben. Entspricht in Farbe und charakteristischen Daten weitgehend der einschlägigen Literatur. Geeignet für Synthese- und Laborzwecke.

- 15 Reinstgas (purissimum, puriss.) – besonders reine Qualität mit Stoffgehalt von mindestens >99,5Vol%. Mit gebräuchlichen Analysemethoden können keine Fremdstoffe nachgewiesen werden. Aussehen und charakteristischen Daten entsprechen der einschlägigen Literatur.

Anwendungen

- 20 Das Verfahren eignet sich insbesondere zur selektiven Entfernung eines Kohlendioxid-Anteils aus einem Gas oder Gasgemisch. Bevorzugt sind dabei Gase/Gasgemische mit einem hohen Kohlendioxid-Anteil, wie beispielsweise Rauch-/Verbrennungsgase. Ferner Gasgemische, die bei technischen Prozessen/Synthesen entstehen oder durch einen fermentativen Prozess, wie der Biogasherstellung. Hierzu gehören auch sogenannte Faulgase, die beispielsweise bei der
- 25 Zersetzung von Klärrückständen entstehen. Ferner ist das Verfahren geeignet zur Aufreinigung mineralischer oder technisch hergestellter Gase. Daher eignet sich das Verfahren zur Aufreinigung von Gasen/Gasgemischen in denen wasserlösliche Gaskomponenten enthalten sind.

- Die mit dem Verfahren erreichbare Extraktion der wasserlöslichen Komponenten eines Gases/Gasgemischs kann ferner dazu verwendet werden, anaerobe Gasphasen, wie
- 30 beispielsweise Faul- oder Biogas, von wasserlöslichen Gasanteilen zu bereinigen, um ein technisch reines oder reinstes Gas zu gewinnen, z.B. als Methan oder Bio-Methan. Insofern können mit dem Verfahren technische Gase/Gasgemische hergestellt werden.

Dabei eignet sich das Verfahren auch zur Herstellung und Gewinnung sowie zum Umsatz von Wasserstoff.

- 35 Das Verfahren ist ferner geeignet um Gaskomponenten aus Gasen/Gasgemischen zu extrahieren, transportieren, lagern und erhältlich zu machen. Insbesondere kann mit dem Verfahren reines gasförmiges Kohlendioxid gewonnen werden, das in einer Vielzahl von Industriebereichen eingesetzt werden kann. Beispielsweise kann das gewonnene Kohlendioxid verwandt werden als technisches Gas, als Treibmittel (z.B. für Zapfanlagen), zur Anreicherung von Kohlensäure (z.B. in
- 40 Lebensmitteln oder Beton) oder zur Trockeneisherstellung. Daher eignet sich das Verfahren zur Herstellung von reinem und hochreinem Kohlendioxid.

- Insbesondere wird es mit dem Verfahren möglich, regeneratives Kohlendioxid zu erhalten, womit/wodurch regenerative Produkte hergestellt werden können. Beispiele für Anwendungen sind die Pflanzenzucht oder die Herstellung einer regenerativen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft, wobei
- 45 Kreislaufkomponenten hergestellt werden können, wie beispielsweise synthetische Kraftstoffverbindungen oder synthetische Kohlenstoffverbindungen. Daher eignet sich das Verfahren zur Herstellung von regenerativem Kohlendioxid.

Das Verfahren ist ferner geeignet das gebundene Kohlendioxid über lange Zeiträume zu lagern

oder es zu transportieren.

Weiterhin ermöglicht das Verfahren, das gebundene Kohlendioxid unmittelbar und ohne weiteren energetischen Eintrag chemisch umzusetzen, wodurch sich wichtige Ausgangsstoffe für die Organosynthese (Herstellung von Kohlenstoffverbindungen) unmittelbar herstellen und mit einfachen Mitteln separieren lassen. Somit eignet sich das Verfahren zur Herstellung von organischen Verbindungen.

Ferner lassen sich mit geringem technischem Aufwand Carbonate und Hydrocarbonate in reiner Form erhalten. Somit eignet sich das Verfahren zur Herstellung von Carbonaten und Hydrocarbonaten. Carbonate und Hydrogencarbonate sind wichtige Grundstoffe beispielsweise als Füllstoffe bei Baustoffen oder in der Papierindustrie, aber auch Nahrungsergänzungsmittel für Mensch und Tier, sowie Inhaltsstoffe von Tabletten oder Zahnputzmitteln.

Insbesondere sind die erfindungsgemäßen Verfahrensausführungen geeignet, um regenerative und nachhaltige Produkte herzustellen.

15 Figurenbeschreibung

Figur 1: Schema einer Vorrichtung zur Adsorption, Transport und Freisetzung von wasserlöslichen Gasen.

Hierin ist: 1) ein beliebiges Gas/Gasgemisch das ein wasserlösliches Gas oder gasförmige Komponente enthält, 1a) repräsentiert die Einlassvorrichtung für das aufzureinigende Gas/Gasgemisch 1); 2) stellt eine Gaswaschvorrichtung dar, in der das Gas 1) mit der Akzeptorlösung in Kontakt gebracht wird; durch den Auslass 3) entweicht das Gas 1) nach der Extraktion der wasserlöslichen Gaskomponente; 4) stellt die Auffangvorrichtung für die Akzeptorlösung dar, die mit dem Gas 1) in der Gaswaschvorrichtung 2) in Kontakt gebracht wurde; 5) stellt einen Zirkulationskreislauf des Akzeptormediums dar, der zwischen der Gaswaschvorrichtung und der Akzeptorkammer 7) der Elektrodialysevorrichtung besteht, wobei aus 4) die mit dem löslichen Gas gesättigte Akzeptorlösung der Akzeptorkammer 7) über einen Einlass zugeführt wird, und wobei die Akzeptorlösung, der das gelöste Gas entzogen wurde und aus einem Auslass der Akzeptorkammer austritt und durch eine Leitung in die Gaswaschvorrichtung 2) eingeleitet wird; die Elektrodialysevorrichtung ist aus den Einzelkomponenten: 6) der Kathodenkammer, 7) der Akzeptorkammer, 8) der Aufnahme- und Freisetzungskammer, 9) der Anodenkammer sowie 10) dem Trennmedium (Membran) zusammengesetzt (nicht dargestellt sind die ionenselektiven Trennmembranen, die die Elektrodenkammern abschließen); 11) stellt eine Zirkulation des Aufnahme- und Freisetzungsmediums dar, bei der das Aufnahme- und Freisetzungsmedium nach Aufnahme des elektrophoretisch transportierten Gases aus der Akzeptorkammer durch einen Auslass in die Freisetzungsvorrichtung 12) befördert wird, in der eine Entgasung des Aufnahme- und Freisetzungsmediums und Freisetzung des transportierten Gases erfolgt, und bei der das entgaste Aufnahme- und Freisetzungsmedium dann wieder über einen Einlass in die Kammer 8) eingeleitet wird; das in 12) freigesetzte Gas wird in der Gasauffangvorrichtung 13) aufgefangen und kann hierin gelagert werden.

Beispiele

Alle Untersuchungen wurden mit entionisiertem Wasser (VE-Wasser) bei Normaldruckbedingungen (101,3kPa) und Raumtemperatur (20°C) durchgeführt, sofern nicht anders angegeben.

Beispiel 1

Es wird eine 0,5molare Arginin-Lösung mit einem entionisierten Wasser hergestellt und in eine Gaswaschvorrichtung eingefüllt. Die Vorrichtung wird über 10 Stunden mit einem konstanten

Kohlendioxid-Gasstrom durchströmt, wobei der pH der Lösung kontinuierlich ermittelt wird. Bei Unterschreiten des pH der Lösung von 9 wurde der Flüssigkeit Arginin in gepulverter Form hinzugegeben und mittels einer in die Vorrichtung eingebrachten Mischeinheit in Lösung gebracht. Dies erfolgte wiederholt, bis insgesamt eine molare Konzentration des Arginins von 3mol/l in der Lösung vorlag. Bei Erreichen eines pH von 8, bei gleichzeitigem Vorliegen einer klaren Flüssigkeit ohne Feststoffe, wurde die Gaseinleitung beendet. Ein Teil der Lösung wurde für Langzeitversuche entnommen und in eine Vorrichtung zur geschlossenen Aufnahme eines Gases unter Umgebungsdruckbedingungen (101,3kPa) bei einer Temperatur von 20°C gelagert. Hierbei wurde das Volumen des aus den Lösungen, die über einen Zeitraum von 3 und 6 Monaten gelagert worden waren, ausgetretenen Gases ermittelt. Nach Beendigung der Langzeitversuche sowie bei der Probe, die nach Versuchsende vorlag, wurden diese in eine Gas auffangvorrichtung gefüllt und HCl hinzugegeben und eingemischt, bis zum Erreichen eines pH von 1. Aus dem ermittelten Volumen des ausgetretenen Gases und der Konzentration des hierin vorliegenden Kohlendioxids wurde die molare Masse ermittelt und die Relation zur molaren Konzentration des in der Lösung vorliegenden Arginins berechnet. Die Versuche wurden 3-mal wiederholt. Anschließend wurden die Lösungen in einer Elektrodialyse-Einheit von den hierin befindlichen Chlorid- und Wasserstoff-Ionen bereinigt, bis ein pH der Lösung von 12,5 vorlag. Diese Lösungen wurden für weitere Wiederholungsversuche eingesetzt, wobei eine Beladung der Akzeptorlösung mit Kohlendioxid erfolgte, bis zu Erreichen eines pH der Lösung von 8. Anschließend erfolgt an 3 Proben die Bestimmung der Kohlendioxid-Gasmenge, die in der Lösung gebunden war, mit dem zuvor beschriebenen Verfahren.

Ergebnisse:

Das molare Verhältnis, das bei einem pH der Lösung von 8 zwischen in der Lösung gebundenen Kohlendioxid und Arginin vorlag, betrug zwischen 0,96 und 1,01. Im Verlauf von 3 und 6 Monaten entwickelte ein Kohlendioxid-Anteil zwischen 0,1 und 0,3 vol%. Die Lösungen blieben im Verlauf klar. Bei erneuter Versuchsdurchführung mit den Arginin-Lösungen, die mittels einer Elektrodialyse regeneriert worden waren, waren die Anteile des gebundenen Kohlendioxids nicht unterschiedlich zur ersten Versuchsdurchführung.

Beispiel 2

Rauchgase aus einer Zementherstellung und von einem Holzhackschnitzel-BHKW mit einem Anteil an Kohlendioxid von 11,2 und 16,9 Vol% wurden durch eine Gaswaschkolonne geleitet.

Vor Eintritt in die Waschkolonne wurden die Rauchgase durch einen Rußfilter geleitet. Der erste Abschnitt der Waschkolonne enthielt als Waschmedium eine 50%ige Ammoniumnitratlösung, die mit Salpetersäure auf einen pH von 5 angesäuert wurde. Anschließend Durchleitung des Gasstroms durch einen Aerosolfilter. Der 2. Abschnitt der Gaswaschkolonne verfügte über eine Gaseinlassvorrichtung, die mit einer Argininlösung befüllt war und wobei der Gasaustritt in die Akzeptorflüssigkeit durch eine nanoporöse gerippte Keramikmembran (Kerafol, Deutschland) mit einer Gesamtoberfläche von 60m² erfolgte, die am Boden der Kammern angeordnet war und durch die die Einleitung der Rauchgase erfolgte, wobei die mittlere Größe der austretenden Gasblasen im Bereich von 1 bis 20µm lag. Dieser Kolonnenabschnitt bestand aus 10 konsekutiv angeordneten Kammersegmenten, in denen jeweils die Gasphase, die sich oberhalb des Flüssigkeitsspiegels sammelte, über eine Rohrleitung dem Einlass der Gaseinlassvorrichtung des nächsten Kammersegments zugeleitet wurde. Die in der Waschkolonne befindliche Akzeptorlösung wurde im Gegenstromverfahren durch die Segmente geleitet. Das gereinigte Gasgemisch wurde aufgefangen und die Konzentration von Kohlendioxid bestimmt. Die Versuchsdurchführung erfolgte mit unterschiedlichen Konzentrationen von Arginin zwischen 0,1 und 0,5mol/l sowie Volumenströmen von 100ml bis 1.000ml/Min. Ferner wurde der Volumenstrom des aufzureinigenden Rauchgases zwischen 200cm³ und 1m³/Minute variiert. Es wurde die

Kontaktzeit berechnet, innerhalb der eine Abreicherung des Kohlendioxids auf einen Konzentrationsbereich von $< 0,01\text{Vol}\%$ (100ppm) erreicht wurde. Die Kontaktzeit wurde dabei berechnet für eine mittlere Gasblasengröße von $10\mu\text{m}$.

Ergebnisse:

- 5 Bei beiden Rauchgasgemischen konnte eine Entfernung des Kohlendioxid-Gehaltes auf $< 100\text{ppm}$ erreicht werden. Dies war unter allen Versuchsbedingungen möglich, bei einer mittleren Kontaktzeit zwischen der Akzeptorlösung und dem zu reinigenden Gasgemisch, die abhängig war von der gewählten Argininkonzentration und zwischen 1 Sekunde und 33 Sekunden lag.

Beispiel 3

- 10 Es wurde eine kontinuierliche Separation von Kohlendioxid aus Gasgemischen vorgenommen, die durch eine Verfahrensanordnung erfolgte, bestehend aus einer Separationseinheit für Kohlendioxid und einer Freisetzungseinheit für Kohlendioxid. Hierzu wurden ein Rauchgas, ein Gasgemisch einer Biogasherstellung sowie technische Gase mit Kohlendioxid-Konzentrationen zwischen 3,5 und 65Vol% verwandt. Diese wurden mit einem Volumenstrom zwischen 500ccm^3 und $1,5\text{m}^3$
- 15 /Stunde durch die im Beispiel 2 beschriebene Waschkolonne geleitet. Das durchgeleitete Gas wurde aufgefangen und die Konzentration von Kohlendioxid bestimmt. In der Akzeptorlösung lag Arginin in einer Konzentrationen von $0,5\text{mol/l}$ gelöst vor (zur Lösung wurde entionisiertes Wasser verwandt). Die in der Waschkolonne mit Kohlendioxid angereicherte Akzeptorlösung wurde in eine Elektrodialyseeinheit geleitet, die aus 12 konsekutiven Dialysekammereinheiten, bestehend aus je
- 20 einer Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer, zusammengesetzt war. Die Einleitung erfolgte in die Kathodenkammer, in der die Kathode befindlich war. Die Akzeptorflüssigkeit wurde konsekutiv durch die sich anschließende Akzeptorkammer geleitet. Die anodenseitig ausgeleitete Akzeptorflüssigkeit wurde der Gaswaschkolonne zum Einlass der Akzeptorflüssigkeit wieder zugeführt. Somit wurde eine Zirkulation zwischen der Gaswaschkolonne und der Elektrodialyse-Einheit eingerichtet, mit einem Volumenstrom zwischen 500ml und $1,5\text{l/min}$.
- 25 Die Aufnahme- und Freisetzungskammern der Elektrodialyse-Einheit waren miteinander verbunden, sodass eine gleichbleibende Befüllung der Kammern mit dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium gewährleistet werden konnte. Oberhalb des Flüssigkeitsspiegels des Aufnahme- und Freisetzungsmediums bestand ein Reservoir für entweichendes Gas, das in ein großvolumiges externes Gasreservoir abgeleitet wurde. Zwischen der Kathodenkammer und der
- 30 Akzeptorkammer sowie zwischen der Aufnahme- und/oder Freisetzungskammer befanden sich mesoporöse keramische Separationsmembranen, die hydrophob oberflächenbeschichtet waren (Wasserkontaktwinkel $> 120^\circ$). Die hieran anschließende Dialysekammereinheit war durch eine elektronenleitfähige Membran (bipolare Membran), die jeweils zwischen der Akzeptorkammer der
- 35 Aufnahme- und Freisetzungskammer eingespannt war, druckstabil getrennt. Die übrigen Kammereinheiten waren entsprechend angeordnet. In dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium lag a) Glutaminsäure (10g/l) oder b) Zitronensäure (100g/l) gelöst vor. Der pH des Aufnahme- und Freisetzungsmediums wurde während der Elektrodialyse monitoriert. Es wurde zwischen der Kathode und der Anode eine Gleichspannung von 20V angelegt. Es wurde das Volumen des in
- 40 den Aufnahme- und Freisetzungskammern freigesetzten Gases bestimmt und eine Analyse der hierin enthaltenen gasförmigen Verbindungen durchgeführt. Ferner wurde die Kohlendioxid-Konzentration, die in dem Gasgemisch vorlag das die Gas auffangvorrichtung durchströmt hatte, bestimmt. Es wurde die Kontaktzeiten berechnet, die erforderlich waren, um bei den jeweiligen Versuchsanordnungen eine Reduktion der Kohlendioxid-Konzentration auf $< 100\text{ppm}$ in dem
- 45 Gasgemisch, das durch die Gaswaschkolonne durchgeleitet worden war, zu erreichen. Die Versuchsdurchführungen erfolgten bei 20°C und unter Normaldruckbedingungen.

Ergebnisse:

Bei allen untersuchten Gasgemischen, die mittels der Vorrichtungsanordnung behandelt worden

waren, konnte die Kohlendioxid-Konzentration auf $< 100\text{ppm}$ reduziert werden. Die hierfür erforderliche Kontaktzeit betrug zwischen 0,5 Sekunden und 2 Minuten und war im Wesentlichen abhängig von der Kohlendioxid-Konzentration des Ausgangsgasgemischs und der Durchflussrate der Akzeptorflüssigkeit durch die Elektrodialyse-Einheit. Das in den Aufnahme- und Freisetzungskammern der Elektrodialyse-Einheit freigesetzte Gas hatte einen Kohlendioxid-Anteil von $> 99\text{vol}\%$. Die berechnete Masse an Kohlendioxid, die sich in dem separierten Gasvolumen befand, entsprach der kalkulierten Masse an Kohlendioxid, die aus den Ausgangsgasgemischen entfernt worden war.

Beispiel 4

Es wurde die chemische Umsetzbarkeit von Kohlendioxid bzw. Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen, die in einem Akzeptormedium gelöst bzw. gebunden vorlagen, untersucht. Hierzu wurden wässrige Lösungen enthaltend die Akzeptor-Verbindungen Arginin sowie Lysin oder Histidin in einer Konzentration von 0,1 bis 0,5mol/l als Akzeptorlösungen verwandt, wobei die Lösung mit VE-Wasser erfolgte. Die Einbringung von Kohlendioxid erfolgte mittels einer Gaswaschkolonne gemäß Beispiel 2, wobei ein Rauchgas mit einem Kohlendioxid-Anteil von 22Vol% zur Extraktion von Kohlendioxid verwandt wurde. Abweichend von der Versuchsdurchführung in Beispiel 2, erfolgte gemäß Beispiel 1 bei kontinuierlicher Registrierung des pH die Zugabe der eingesetzten Akzeptor-Verbindungen in solider (Pulver) Form sofern der pH der Akzeptorlösung gegenüber dem Ausgang um mehr als 1 durch die Aufnahme von Kohlendioxid abgesunken war. Die Zugabe wurde beendet wenn insgesamt 3mol/l der jeweiligen Akzeptor-Verbindung vollständig gelöst waren und eine klare Lösung vorlag. Ein Katalysator (Ruthenium-Komplex immobilisiert auf MCM-41) wurde auf PU-Netzen mittels eines Klebstoffs fixiert. Diese Netze wurden in die Akzeptorkammern der Elektrodialyse-Einheiten gemäß Beispiel 3 eingespannt, sodass sie von dem die Akzeptorkammern durchströmenden Akzeptormedium umspült wurden. Abweichend von Beispiel 3 wurde als Trennmembran jeweils zwischen der Akzeptorkammer und der Aufnahme- und Freisetzungskammer eine Anionenaustausch-Membran mit einer cut-off von 400Da eingesetzt. Als Aufnahme- und Freisetzungsmedium wurde bei dieser Versuchsdurchführung eine Arginin-Lösung verwandt in einer Konzentration von 0,3mol/l. Ferner erfolgte abweichend von Beispiel 3 eine Zirkulation des Aufnahme- und Freisetzungsmedium in einem Sekundärkreislauf, bei dem das Medium eine Abscheidevorrichtung durchlief, bei der der Lösung Calciumcarbonat hinzugefügt wurde und dann in einen Absetzbehälter geleitet wurde, in dem sich Komplexe aus der in das Aufnahme- und Freisetzungsmedium transportierten Carbonsäure und Calciumkomplexen absetzten. Nach Durchleitung durch eine Säule mit einem Kationenaustauschharz wurde die Lösung wieder den Anodenkammern zugeführt. Es erfolgte eine diskontinuierliche Entfernung der abgesetzten Feststoffe aus dem Absetzbehälter der Abscheidevorrichtung, die durch Zentrifugation entwässert wurden. Die Darstellung der in dem Zentrifugat (weißer Feststoff) gebundenen organischen Säuren erfolgt durch eine Extraktion mit Ethanol und anschließender Methylierung, gefolgt von einer gaschromatographischen Analyse.

Während der Durchleitung der Akzeptorlösungen, enthaltend Kohlendioxid und Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen, durch die Akzeptorkammern, erfolgte eine Elektrodialyse mit 20V Gleichspannung, die zwischen der Anode und Kathode angelegt wurde.

Ergebnisse:

Das Rauchgas konnte von dem enthaltenen Kohlendioxid-Anteil auf einen Anteil von $< 100\text{ppm}$ bereinigt werden. Dabei erfolgte die Aufnahme und der Transport mittels Akzeptorlösungen, in denen basische Aminosäuren gelöst vorlagen, deren Konzentration in der Lösung durch die Aufnahme von Kohlendioxid in die Lösungen deutlich über die jeweilige Löslichkeitsgrenze der eingesetzten Aminosäuren in neutralem Wasser gesteigert werden konnte. Hierdurch ließen sich hohe Konzentrationen an Kohlendioxid und Carbonat-/Hydrogencarbonat-Anionen in den

wässrigen Akzeptorlösungen herstellen.

Mittels einer alkoholischen Extraktion aus den abgeschiedenen Calciumkomplexen des Sekundärkreislaufs ließ sich Ameisensäure nachweisen, die in hoher Konzentration vorlag. Somit konnte gezeigt werden, dass zu einem ein chemischer Umsatz des in der Akzeptorlösung vorliegenden Kohlendioxids sowie dessen Derivate erfolgt ist und zum anderen die hierbei entstandenen Carbonsäuren mittels Elektrodialyse in das Aufnahme- und Freisetzungsmedium transportiert worden sind.

Beispiel 5

Untersuchung zur Umsetzung von Kohlendioxid zu Carbonaten

Es werden jeweils 1 Liter einer 2 molare Argininlösung mit VE-Wasser hergestellt und dieser jeweils 200g Natriumchlorid (A) bzw. Calciumchlorid (B) hinzugegeben und gelöst. Die Lösungen werden in einer Begasungsvorrichtung gemäß Beispiel 2 mit Kohlendioxid beaufschlagt. Der pH der Lösung wird dabei monitoriert. Die Begasung wird nach 30 Minuten beendet und die Lösung wird für 24 Stunden stehen gelassen. Anschließend wurde der Überstand vollständig dekantiert und der entstandene Feststoff mit 100ml VE-Wasser suspendiert. Anschließend wurde die Suspension zentrifugiert. Der Waschschrift wurde noch 2-mal wiederholt. Die erhaltenen Zentrifugate werden auf keramische Filterplatten ausgestrichen und bei Raumtemperatur getrocknet. Die getrockneten Feststoffe werden eine Festkörper-NMR-Analyse unterzogen. Zusätzlich erfolgte zum Nachweis des Vorliegens von Carbonaten eine chemische Zersetzung mittels einer konzentrierten HCl-Lösung, die zu dem jeweiligen Pulver (3g) in einen mit Stickstoff begasten Glaskolben gegeben wurde. Das entstehende Gas wurde durch ein CO₂-Messgerät geleitet. Die dekantierten Überstände wurden mittels Elektrodialyse behandelt unter Verwendung einer anionenselektiven Membran.

Ergebnisse:

Die Lösungen waren zum Ausgang transparent. Nach einer Begasungsdauer von 2 Minuten zeigte sich eine milchige Trübung der Akzeptorlösung, die sich in ihrer Intensität rasch fortsetzte. Der pH sank während der Begasung von 12,4 (A) bzw. 11,8 (B) auf 8,6 (A) bzw. 8,3 (B). Nach 24 Stunden war in beiden Reaktionsgefäßen eine weiße Feststoffsicht sedimentiert, der Überstand war jeweils klar. Die erhaltenen Feststoffe lagen nach Trocknung als feine weiße Pulver vor. Bei der säure-katalytischen Zersetzung wurde Kohlendioxid freigesetzt. In der NMR-Analyse wurden Natriumcarbonat (A) sowie Calciumcarbonat (B) gefunden, andere Elemente oder Verbindungen waren nicht enthalten. Durch die Elektrodialyse der Überstände erfolgte eine Entfernung der hierin enthaltenen Chloridionen unter Freisetzung von Chlor an der Anode. Der pH der jeweiligen Überstandslösungen stieg dabei auf das Niveau der jeweiligen Ausgangslösung an.

Beispiel 6

Untersuchung zur Umsetzung von Kohlendioxid zu Carbonaten.

Es wurde jeweils 1 Liter einer 2 molaren Arginin-Lösung hergestellt. Diese wurden jeweils für 1 Stunde mit Kohlendioxid gemäß Beispiel 2 begast. Ferner wurde jeweils 1 Liter einer 1 molaren Arginin-Lösung hergestellt und hierin (A) Aluminiumchlorid bzw. (B) Eisenchlorid gelöst bis der pH der Lösung bei 8 lag. Die Lösungen wurden jeweils einer der mit Kohlendioxid gesättigten Arginin-Lösungen unter Rühren zudosiert. Anschließend erfolgte eine Zentrifugation. Anschließend wurde der Überstand vollständig dekantiert und der entstandene Feststoff mit 100ml VE-Wasser suspendiert. Anschließend wurde die Suspension zentrifugiert. Der Waschschrift wurde noch 2 mal wiederholt. Die erhaltenen Zentrifugate werden auf keramischen Filterplatten ausgestrichen und bei Raumtemperatur getrocknet. Es erfolgte eine chemische Zersetzung von jeweils 2g der Pulver gemäß Beispiel 5. Die getrockneten Feststoffe wurden bei 900°C zersetzt und die Rückstände einer Elementaranalyse unterzogen.

Ergebnisse:

Beim Einschmischen der Lösungen, enthaltend Aluminium- bzw. Eisenionen in eine mit Kohlendioxid gesättigte Akzeptorlösung, entstanden weiße bzw. rostfarbene Feststoffe. Diese ließen sich durch Zentrifugation vollständig separieren, der Überstand war klar. Nach dem Auswaschen löslicher Verbindungen und Trocknung wurden getrocknete Feststoffaggregate erhalten, die sich im Mörser zu einem feinen Pulver zerkleinern ließen. Bei der säure-katalytischen Zersetzung wurde Kohlendioxid freigesetzt. Durch thermische Zersetzung wurde das gebundene Kohlendioxid freigesetzt. In der Elementaranalyse konnten nur Aluminium- (A) bzw. Eisenoxid (B) nachgewiesen werden.

Beispiel 7

10 Untersuchung zur Gewinnung von Reingasen

Für die Absorption und Extraktion von Kohlendioxid wurde eine Gaswaschvorrichtung enthaltend Füllkörper, die mit einer Akzeptorlösung kontinuierlich besprüht wurden, verwandt (Abb. 1: 2)). Es wurde ein Teilstrom eines Biogases mit einem Volumenstrom von 100m³/h durchgeleitet (Abb. 1: 2)). Die Füllkörper wurden mit einem Volumenstrom der Akzeptor-Lösung von 100l/min beaufschlagt. Hierzu wurde die Akzeptor-Lösung aus einem Vorlagetank 1 verwandt (Abb1: 4)). Die zur Gaswäsche gebrauchte Akzeptor-Lösung wurde aus der Gaswaschvorrichtung einer Elektrodialyseeinheit zur Desorption des in der Akzeptor-Lösung gebundenen Kohlendioxid zugeführt (Abb.1: 5)). Diese bestand aus einer Katholyt- (Abb. 1: 6)) und einer Anolytkammer (Abb. 1: 9)) sowie einer alternierenden Anordnung einer Kammer zur Aufnahme der Akzeptor-Lösung (Abb. 1: 7)) und einer Kammer zur Aufnahme des Aufnahme- und des Freisetzungsmediums (Abb. 1: 8)). Letztere wurden durch eine bipolare Membran voneinander getrennt (Abb. 1: 10)), während die Anodenkammer mit einer anionenselektiven und die Kathodenkammer mit einer kationenselektiven Membran an die erste Akzeptor-Kammer bzw. an die letzte Aufnahme- und Freisetzungs-Kammer anschlossen war. Die Gesamtfläche der bipolaren Membranen betrug 10m². Als Akzeptorlösung wurde eine Arginin-Lösung mit einer Konzentration von 2mol/l gewählt.

Die Akzeptor-Lösung erwärmte sich während des Absorptionsprozesses auf eine Temperatur zwischen 34 und 56°C. Als Aufnahme- und Freisetzungsmedium wurde eine 10Gew%ige Zitronensäurelösung verwandt. Das Volumenverhältnis zwischen dem Akzeptormedium und dem Freisetzungsmedium, welche die Dialyseeinheit durchströmten, betrug 2:1. Es wurde eine Gleichspannung von 20V zwischen Anode und Kathode angelegt.

Die Kammervorrichtungen für die Aufnahme des Aufnahme- und Freisetzungsmediums waren mit einem Auslas für Gase versehen, die mit einer initial evakuierten Gasauffangvorrichtung verbunden waren. Auch das Vorratsgefäß für das Aufnahme- und Freisetzungsmedium war mit dieser Auffangvorrichtung verbunden, sodass ein entstehender Gasstrom drucklos hierin aufgenommen werden konnte. Es erfolgte eine kontinuierliche Bestimmung des CO₂-Gehalts des Gasstroms der den Gaswäscher passiert hatte, sowie des Gases, das in der Gasauffangvorrichtung aufgefangen wurde.

Ergebnisse

Das behandelte Biogas hatte einen CO₂-Gehalt von 48 Vol%. Das Gas das den Gaswäscher passiert hatte, wies einen CO₂-Gehalt von 0,002Vol% und eine Methangehalt von 99,1 Vol% auf. Während der kontinuierlichen Gaswäsche und Durchleitung des Akzeptormediums durch die Elektrodialyseeinheit kam es zur Freisetzung von CO₂ sowohl in den Aufnahme- und Freisetzungskammern als auch im Vorratsgefäß für das Aufnahme- und Freisetzungsmedium. Der CO₂-Gehalt des freigesetzten und aufgefangenen Gases betrug > 98,5 Vol%, Methan wurde hierin nicht nachgewiesen. Der kontinuierliche Betrieb war für mehr als 8 Stunden störungsfrei möglich. Eine relevante Erwärmung der Prozessmedien erfolgte nicht.

Beispiel 8

Untersuchung zur Herstellung von Carbonaten

Es wurden 5 Liter einer 2 molaren Argininlösung mit VE-Wasser hergestellt. Hierin wurden 500g Eisen(III)Chlorid vollständig gelöst. Die rotbraune klare Lösung wurde mit einem CO₂-Gas gemäß Beispiel 2 durchströmt. Dabei wurde der pH von 9,2 auf 8,5 reduziert. Die Lösung war anschließend klar und enthielt keinen Feststoff. Anschließend wurde der Lösung VE-Wasser in einem Volumenverhältnis von 1:1 zugesetzt und durchmischt. Es entstand sofort ein flockiger hellbrauner Feststoff der langsam sedimentierte. Der Überstand wurde dekantiert. Er war transparent und hatte eine leichte rötliche Färbung. Die Sedimentphase wurde zentrifugiert, der Überstand wurde mit dem zuvor dekantierten Überstand vereinigt (WP 1). Das Zentrifugat wurde in jeweils 3 Litern VE-Wasser suspendiert und für eine Stunde gerührt. Es erfolgte jeweils eine Phasentrennung mittels Zentrifugation. Die braun-rötliche Masse wurde auf keramischen Filterplatten mit einer Porengröße von im Mittel 200µm ausgestrichen. Die Filterplatten wurden auf einem saugfähigen Material gelagert, bis das Aufgabematerial vollständig getrocknet war. Das krümelige braune Material wurde in einem Mörser zerstoßen. Es wurden 480g eines braunen Pulvers erhalten. Es wurde eine Probe in Wasser suspendiert und hierin agitiert. Anschließend Sedimentation des Pulvers. Der Überstand war anschließend klar und farblos, der pH betrug unverändert zum Ausgang 6,8. Einer weiteren Probe des Pulvers wurde eine 10%ige HCL-Lösung hinzugefügt. Es kam zu einem Aufschäumen, unter Freisetzung von CO₂. Die Lösung war anschließend rot-bräunlich, hierin lag kein Feststoff mehr vor. In der Analyse dieser Zersetzungslösung konnte kein Stickstoff nachgewiesen werden. Somit entsprach das erhaltene Pulver Eisencarbonat. Die WP1 wurde durch eine Elektrodialyse-Einheit geleitet. Der anodenseitige Abschluss der Donorkammern erfolgte mit einer anionenselektiven Membran, der kathodenseitige Abschluss mit einer kationenselektiven Membran. Es wurde eine Gleichspannung von 10V angelegt. Es konnte gezeigt werden, dass in der Anodenkammer Chlorgas und in der Kathodenkammer Wasserstoff freigesetzt wurden. Im Anschluss an die Elektrodialyse wurde die Lösung mit CO₂ begast. Im Anschluss an die Begasung konnte das in der Lösung gebundene CO₂ durch pH-Änderung mittels einer Säure (HCL) wieder freigesetzt werden.

Beispiel 9

Herstellung von Carbonaten in einem Sekundärkreislaufverfahren

Ein Teilstrom (10m³/h) des Gases eines Bioreaktors einer kommunalen Kläranlage wurde mittels einer Wasserstrahlpumpvorrichtung angesaugt und mit dem wässrigen Akzeptormedium in Kontakt gebracht. Das Wasser-/Gasgemisch wurde in einer Rohrleitung zu einem statischen Mischer geleitet und passierte diesen. Das Gemisch gelangte dann in einen Auffangtank aus dem das Gas in die Atmosphäre frei entweichen konnte. Das wässrige Akzeptormedium lag als 2 molare Arginin-Lösung vor. Aus dem Auffangtank wurde kontinuierlich das mit Kohlendioxid beladene Akzeptormedium in einen Sekundärkreislauf eingepumpt. Der Sekundärkreislauf bestand aus einer Elektrodialyse-Vorrichtung bestehend aus einer Anodenkammer, einer Kathodenkammer und 10 konsekutiven Kammer-Einheiten in der Anordnung: Akzeptorkammer/Reaktionskammer/Elektrolytkammer. Die Akzeptorkammern wurden konsekutiv von dem Akzeptor-Medium durchströmt und anschließend der Wasserstrahlpumpvorrichtung zugeführt. Das Reaktionsmedium sowie die Elektrolytlösung wurden jeweils aus einem Vorratsbehälter entnommen und durch die Reaktionskammern bzw. die Elektrolytkammern geleitet. Die Akzeptorkammern waren anodenwärts von den Reaktionskammern durch eine anionenselektive Membran getrennt. Kathodenwärts waren diese durch eine bipolare Membran von den Elektrolytkammern getrennt. Die Reaktionskammern und die Elektrolytkammern wurden durch eine kationenselektive Membran getrennt. Die Kammereinheiten für das Reaktionsmedium grenzten anodenseitig an die Elektrolytkammern an. Es wurden verschiedene Reaktionsmedien untersucht. Hierzu wurde aus einer 1 molaren Arginin-Lösung jeweils die folgenden Reaktionslösungen hergestellt: a) 30%ige Magnesiumchlorid-Lösung, b) 20%ige Kupferchlorid-

Lösung, c) 15%ige Aluminiumchlorid-Lösung. Das Reaktionsmedium wurde jeweils kontinuierlich aus einem Absetztank durch die Reaktionskammern rezirkuliert. Die Reaktionskammern waren so konstruiert, dass das Reaktionsmedium die Kammer vertikal durchströmte und durch einen konischen Bodenauslass in den Auffangtank geleitet wurden, wodurch entstandener Feststoff mit
5 ausgetragen wurde. Nach jedem Versuchsdurchlauf, der für jeweils 5 Stunden erfolgte, wurde keine weitere Agitation des Reaktionsmediums für 12 Stunden durchgeführt. Anschließend wurde der wässrige Überstand durch einen über der Feststoffphase angebrachten Auslass abgelassen, anschließend wurde der Feststoff entnommen und 2 mal mit VE-Wasser gespült und anschließend auf einem Kontaktbandtrockner getrocknet.

10 Die Elektrolytlösung wurde in einem Tertiärkreislauf einer weiteren Elektrodialyse-Einheit zugeführt, in der eine Separation von Chloridionen erfolgte.

Der Nachweis der jeweiligen Carbonate, die als Feststoffe gewonnen wurden, erfolgte gemäß der Verfahren in Beispiel 6.

Ergebnisse:

15 Der Temperaturbereich des Akzeptormediums lag in Bereichen zwischen 45 und 75°C. Das Klärgas hatte einen Kohlendioxid-Gehalt von 26vol%. Durch die in Kontaktbringung des Klärgases mit dem Akzeptormedium wurde der Kohlendioxid-Gehalt auf < 0,01Vol% reduziert. Nach Beginn der Durchleitung des Akzeptormediums durch die Elektrodialyseeinheit, wurden die Reaktionslösungen rasch milchig und es kam jeweils zu einem kontinuierlichem Ausfall von
20 Feststoff. Die Analyse der gespülten und getrocknete Feststoffe zeigte sich, dass es sich um die Carbonate der jeweils eingesetzten Kationen des Elektrolyts handelte. Somit wurden Magnesiumcarbonat, Kupfercarbonat und Aluminiumcarbonat hergestellt.

Beispiel 10

Untersuchung zur stofflichen Verwertung von Reststoffen organischen und anorganischen
25 Ursprungs durch Umsatz mit Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten in einem regenerativen Kreislaufverfahren zum Erhalt von regenerativen Rohstofffraktionen.

Gebrauchte Aluminium-Dosen (100g) werden in zerkleinerter Form in 200ml konzentrierter Schwefelsäure vollständig zersetzt, indem portionsweise VE-Wasser hinzugefügt wurde in der Menge, in der Wasserstoff und Wasserdampf entwich. Das Dampf-/Gasgemisch wurde
30 aufgefangen und der darin erhältliche Wasserstoff separiert. Die erhaltene Lösung war grau-bräunlich und stark trüb. Die Lösung wird mittels einer Glasfritte filtriert und mit 600ml einer 1 molaren Argininlösung gemischt. Dieses Gemisch wird in eine 3 molare Arginin-Lösung, die mit Kohlendioxid aus dem Gasgemisch einer Biogasanlage gesättigt war, portionsweise eingerührt. Nach dem Einmischvorgang wurde die Suspension zentrifugiert und das Zentrifugat 2-mal mit VE-
35 Wasser gespült und nach Zentrifugation getrocknet.

Es wurden 200g gereinigte Schalen von Hühnereiern in 500ml einer 60Gew%igen Salzsäurelösung zersetzt. Das dabei entweichende Kohlendioxid wurde aufgefangen und adsorbiert in einer 2 molaren Arginin-Lösung mit einer Vorrichtung gemäß Beispiel 2. In der resultierenden trüben Lösung lag organisches Material, wie z.B. Eihäute vor. Dieses wurde
40 abfiltriert und die Lösung wurde durch die Elektrolytkammer einer Elektrodialyse-Vorrichtung gemäß Beispiel 9 befördert. Die Akzeptorkammer und die Reaktionskammer wurden mit den Akzeptor- bzw. Reaktionsmedien gemäß Beispiel 9 befüllt, bzw. von diesen durchströmt. Dabei war die Akzeptorlösung mit dem Kohlendioxid gesättigt worden, das aus der Zersetzung der Eierschalen erhalten worden war. Der sich in der Reaktionskammer ausbildende Feststoff wurde
45 separiert und 2-mal mit VE-Wasser gespült und nach Zentrifugation konvektiv getrocknet. Die Elektrolytlösung der Anodenkammer, die zum Ende der Untersuchung vorlag, wurde mittels einer Membrandestillation aufkonzentriert und für eine weitere Versuchsdurchführung verwandt. Auch die Akzeptorlösung wurde im Anschluss an die Untersuchung zur Aufnahme von Kohlendioxid bei

der Zersetzung von Knochen verwandt. Die energetische Versorgung erfolgte bei den Untersuchungen mit Solarstrom.

Die Analyse der erhaltenen Feststoffe erfolgte gemäß Beispiel 6.

Ergebnisse:

- 5 Die in den beiden Verfahrensausführungen erhältlichen Feststofffraktionen waren Aluminiumcarbonat und Calciumcarbonat. Diese lagen in chemisch reiner Pulverform in Form amorpher Partikel vor. Die zur Zersetzung der Ausgangsstoffe eingesetzten Verbindungen (Säuren) konnten in einem Sekundärkreislauf wieder regeneriert und für eine erneute Versuchsdurchführung eingesetzt werden. Auch die Akzeptorlösung konnte regeneriert und wieder eingesetzt werden.
- 10 Somit konnte ein Recycling von anorganischen Reststoffen, unter Verwendung von regenerativem Kohlendioxid und regenerativer Energie, vorgenommen werden, wobei eine nachhaltige Kreislaufführung der eingesetzten Verbindungen ermöglicht wird.

Beispiel 11

Für die Versuchsdurchführung 1) werden 50g zerkleinerte Aluminiumfolie mit 300ml einer 35%ige HCl-Lösung hydrolysiert. Es erfolgt ein vollständiger Umsatz zu einer hellgrauen Masse mit einem pH von 1. Die Masse wird in 1 Liter entionisiertem Wasser vollständig gelöst (1A). Hiervon werden 150ml separiert und mit einer Ammoniak-Lösung unter Rühren auf einen pH von 4 titriert. Nach 10 Minuten wird die Lösung zentrifugiert und der Überstand dekantiert (1Ü).

Für die Versuchsdurchführung 2) werden 100g Aluminiumsulfat in 300ml entionisiertem Wasservollständig gelöst (2A). Hiervon werden 150ml separiert und mit einer Ammoniak-Lösung unter Rühren auf einen pH von 3 titriert. Nach 10 Minuten wird die Lösung zentrifugiert und der Überstand dekantiert (2Ü).

Es wird eine 2molare Argininlösung (zubereitet mit VE-Wasser) durch eine statische Mischvorrichtung zirkuliert, bei der der Lösung vor dem statischen Mischer Kohlendioxid als Gasphase zugemischt wird. Die Gasbeaufschlagung erfolgt drucklos bis zum Erreichen eines pH der Akzeptorlösung von 8.

Der chemische Umsatz erfolgt, indem für jede der klaren und farblosen Elektrolyt-Lösungen 1A, 1Ü, 2A sowie 2Ü eine Einmischung in jeweils 1000ml der Akzeptorlösung mittels einer Dosierpumpe erfolgt, bis zum Erreichen eines pH von 7. Sofern die Elektrolyt-Lösung in dem Ansatz nicht vollständig verbraucht/umgesetzt werden konnte, wurde der Mischvorgang mit frischer gesättigter Akzeptorlösung fortgesetzt. 15 Minuten nach Abschluss der Einmischung wurden die Reaktionsgemische zentrifugiert. Die Überstände wurden dekantiert und vereinigt (V1). Die für die jeweilige Untersuchungsreihe erhaltenen Zentrifugate wurden in 1000ml VE-Wasser suspendiert und hierin für 15 Minuten agitiert. Anschließend Phasentrennung durch Zentrifugation. Dieser Vorgang wurde noch 2-mal wiederholt. Die Zentrifugate wurden auf mesoporösen Keramikmembranen ausgestrichen und hierauf bei Raumtemperatur für 24 Stunden belassen. Das anschließend trockene Material wurde gewogen und Proben für die Analytik entnommen, die gemäß Beispiel 5 und 6 erfolgte.

Die Bestimmung der Arginkonzentration erfolgt spektroskopisch nach Zugabe eines Ninhydrin-Reagenz.

Ergebnisse:

Aus dem Hydrolysat einer Aluminiumfolie (Versuchsdurchführung 1) konnte eine klare Lösung hergestellt werden. Durch die Zumischung von Ammoniak kam es zu einer Flockulation. Der entstandene Feststoff konnte vollständig abzentrifugiert werden. Dabei hatte das Zentrifugat 2 farblich unterschiedliche Anteile: unten rein-weiße etwas glasige Masse, darüber grau-braune Feststoffmasse. Bei der Versuchsdurchführung 2 kam es bei Zugabe von Ammoniak zu der Elektrolytlösung ebenfalls zu einer Flockulation, das Zentrifugat war aber einheitlich weiß und von gelartiger Konsistenz.

Mit allen Elektrolytlösungen konnte ein weißer Feststoff durch die Mischung mit der gesättigten Akzeptorlösung hergestellt werden. Optisch unterschieden sich die Zentrifugatphasen nicht voneinander. Für die protokollgemäße Mischung der Elektrolytlösungen mit der Akzeptorlösung war für die Elektrolytlösungen, die nicht mit Ammoniak vorbehandelt worden waren gegenüber denen die hiermit vorbehandelt waren die Verwendung eines 1,6-fachen (Versuchsdurchführung 1) bzw. 1,8-fachen (Versuchsdurchführung 2) Volumens der Akzeptorlösung erforderlich, um die jeweilige Gesamtmenge der Elektrolytlösungen umzusetzen. Andererseits wurden bei 1A und 2A nur 80 bzw. 75Gew% der Feststoffmenge erhältlich, die aus 1Ü bzw. 2Ü erhalten werden konnten. In der chemischen Analyse konnte gezeigt werden, dass es sich bei dem gewonnenen Feststoff um Aluminiumcarbonat und um Aluminiumhydrogencarbonat handelt.

Die Überstände nach der ersten Zentrifugation wurden mittels einer Elektrodialyse von hierin befindlichen Elektrolyten bereinigt. Anschließend wurde mittels einer Membrandestillation das Flüssigkeitsvolumen reduziert, sodass die Ausgangskonzentration der Arginin-Lösung wieder hergestellt wurde. Hiermit wurde eine erneute Absorption von Kohlendioxid vorgenommen und die Versuchsdurchführung wiederholt. Es konnte mit der gleichen Effizienz Aluminiumcarbonat und Aluminiumhydrogencarbonat gewonnen werden.

Beispiel 12

Untersuchung zur kathodischen Freisetzung von Gasphasen aus einem wässrigen Akzeptormedium.

Es wurde eine 2 molare Arginin-Lösung mit VE-Wasser hergestellt. Hiervon wurden 2 Liter separiert und unter Luftabschluss aufbewahrt (A0). Die restliche Akzeptorlösung wurde gemäß Beispiel 7 mit einem Gasstrom von Kohlendioxid beaufschlagt. Der Grad der Beladung mit Kohlendioxid, bzw. dessen wasserlösliche Derivate wurde mittels einer Leitfähigkeitsmessung monitoriert. Das Akzeptormedium wurde bis zum Erreichen einer Leitfähigkeit von 150mSi mit Kohlendioxid beaufschlagt (A1).

Es wurde jeweils eine 20Gew%igen Lösung von KOH (K) sowie NaOH (N) als Stammlösung hergestellt. Aus diesen wurden jeweils 2 Liter einer a) 1Gew%, b) 2Gew%, c) 3Gew% und d) 4Gew%Lösung hergestellt.

Jeweils 2 Liter von A1 wurde KOH (A1K) sowie NaOH (A1N) als Feststoff hinzugegeben und gelöst, sodass jeweils diese als a) 1Gew%, b) 2Gew%, c) 3Gew% und d) 4Gew%Lösung vorlagen. Es wurde ein rechteckiges Glasgefäß gefertigt zur Aufnahme von 500ml Flüssigkeit in das mittig eine Trennvorrichtung eingebracht werden konnte, wodurch 2 Kammern in dem Gefäß voneinander separiert wurden. Als Trennvorrichtung wurde eine Lochscheibe aus Polycarbonat eingebracht, deren Durchbohrungen einen Durchmesser von 2 mm hatten bei einer Porosität von 70%. In die Kammern wurde jeweils eine Graphitelektrode in eine Halterung eingebracht, die eine axiale Verschieblichkeit der Elektroden, die parallel zur Trennvorrichtung angeordnet waren, ermöglichte. Das Gefäß war oben gasdicht abgeschlossen, mit einem deckelseitigen Auslass für jede Kammer. Diese Auslässe waren jeweils mit einer Gasauffangvorrichtung verbunden, die eine drucklose Ableitung eines Gases, das sich in der jeweiligen Kammer gebildet hat, ermöglichte. Das jeweilige Gasvolumen konnte hiermit quantifiziert werden. Das Gefäß hatte an beiden Stirnseiten einen Ein- bzw. Auslass zur Befüllung, bzw. zur Durchleitung mit/von Flüssigkeiten. Die Elektroden wurden mit einem Gleichrichter verbunden.

Das Gefäß wurde konsekutiv mit den verschiedenen Versuchslösungen befüllt, sodass hierin keine Luft verblieb. In der Versuchserie 0) wurden die Lösungen K) und N) jeweils in den Konzentrationen a) – d) in das Gefäß gefüllt. Es wurde zunächst für jede Lösung die elektrische Gleichspannung ermittelt, ab der es zu einem Stromfluss kam (Smin). Es wurde dann die Spannung ermittelt, bei der es zu einer Gasblasenbildung an beiden Elektroden kam, die zu einer Abscheidung eines Gasvolumens führte. In der Versuchsserie I) wurden dann die Lösungen A0

und A1 sowie A1K und A1N in den Konzentrationen a) – d) konsekutiv untersucht. Es wurde für jede der Lösungen eine konstante Spannung für 10 Minuten angelegt, die mindestens 1 Volt höher war als S_{min} und einem Vielfachen von 2 entsprach. Alle 10 Minuten wurde die Spannung um 2 V bis zu einer Spannung von 32 V erhöht. Es wurden die Bildung von Gasblasen an den Elektroden, der jeweils vorliegende Stromfluss (mA) und die Gasmenge, die während der Stromabgabe entstanden war, registriert.

In der Versuchsserie II) wurde für jede der Lösungen die Untersuchung mit der Spannung, die bei der jeweiligen Lösung zuvor ermittelt worden war, bei der es zu keiner Gasbildung an der Kathode gekommen war, wiederholt, wobei das Gefäß mit der jeweiligen Lösung perfundiert wurde, sodass ein Fluss von der Kathodenkammer durch das Separationsmedium in die Anodenkammer erfolgte. Das in der Kathodenkammer freigesetzte und aufgefangene Gas wurde auf die chemische Zusammensetzung analysiert.

Ergebnisse (Siehe Tabelle 1a und Tabelle 1b):

In der Versuchsserie I) kam es bei den Lösungen K und N konzentrationsabhängig zu einer Elektrolyse, die ab einer Spannung von 2 – 4V zu einer Wasserstoff- und Sauerstoffbindung führte. Bei Lösung A0 kam es bis 24 V zu keinem Stromfluss und bis 32V zu keiner Elektrolyse die zur Ausbildung einer Gasphase führte. Bei Lösung A1 kam es zu einem Stromfluss ab 12V; zu einer Bildung von Gas an der Kathode kam es ab einer Spannung von 20V. Zu einer Gasbildung an der Anode kam es auch bei einer Spannung von 32 V nicht. Bei den Lösungen A1K und A1N kam es bei steigender Konzentration zu einer Abnahme von S_{min} . Ferner konzentrationsabhängig sank die erforderliche Spannung, die zur Entstehung von Gas an der Kathode führte. Auch bei diesen Lösungen entstand keine messbare Menge an Sauerstoff an der Anode. Das Gas das an der Kathode bei den Lösungen A1 sowie A1K und A1N entstanden war entsprach Kohlendioxid. Dabei war die Gasmenge, die bei einer identischen Spannungsanlage erhältlich wurde, erheblich größer bei A1K und A1N als bei A1 und stieg mit der Konzentration des zugefügten Elektrolytes an.

In der Versuchsserie II) erhöhte sich die Menge des an der Kathode freigesetzten Kohlendioxid um 20 – 40Vol% durch die Perfusion des Gefäßes mit den Lösungen A1, A1K und A1N.

Tabelle 1a

V-Nr.	V	AL nativ	AL-CO2	NaOH	K	A
V0	2	1			1%	0
V0	4	1			1%	1,2
V0	6	1			1%	6,5
V0	8	1			1%	12
		1				4,5
V0	2	1			2%	0
V0	4	1			2%	5
V0	6	1			2%	8,2
V0	8	1			2%	18,5
		1				5,5
V0	2	1			3%	0,7
V0	4	1			3%	10,8
V0	6	1			3%	18,2
V0	8	1			3%	28
						10
V0	2	1			4%	1,2
V0	4	1			4%	11
V0	6	1			4%	23
V0	8	1			4%	36
						12,8

A1	2 - 20	1		0	0
A1N a) -					
d)	2 - 20	1	1% - 4%	0	0
A1	2 - 20		1	0	0
A1	32		1	4,2	0
A1N a)	2 - 14		1	1%	0
A1N a)	16		1	1%	4,8
A1N a)	24		1	1%	10,2
A1N b)	2 - 6		1	2%	0
A1N b)	8		1	2%	7,2
A1N b)	12		1	2%	12,4
A1N c)	2 - 4		1	3%	0
A1N c)	6		1	3%	6,8
A1N c)	12		1	3%	18,2
A1N d)	2		1	4%	0
A1N d)	4		1	4%	2,6
A1N d)	6		1	4%	8,8
A1N d)	8		1	4%	16,8

- V-Nr. = Versuchsnummer, V = angelegte Gleichspannung in Volt; AL nativ = Akzeptorlösung ohne Beladung mit Kohlendioxid; AL -CO₂ = Akzeptorlösung mit Kohlendioxid beladen; NaOH = Konzentration von Natriumhydroxid in der Akzeptorlösung in Gew%; KOH = Konzentration von Kaliumhydroxid in der Akzeptorlösung in Gew%; K = Gasvolumen das sich in der Kathodenkammer innerhalb der Versuchszeitraums gebildet hat in ml bei Normaldruck; A = Gasvolumen das sich in der Anodenkammer innerhalb der Versuchszeitraums gebildet hat in ml bei Normaldruck.

Tabelle 1b

V-Nr.	V	AL nativ	AL-CO ₂	KOH	K	A
V0	2	1		1%	0	0
V0	4	1		1%	1,6	0,6
V0	6	1		1%	11,2	4,4
V0	8	1		1%	16,5	6,7
		1				
V0	2	1		2%	0	0
V0	4	1		2%	5,8	2,6
V0	6	1		2%	12,8	6,3
V0	8	1		2%	22,4	9,5
		1				
V0	2	1		3%	1,1	0,6
V0	4	1		3%	12,3	6
V0	6	1		3%	18,2	7,4
V0	8	1		3%	28,1	12,9
V0	2	1		4%	1,6	0,7
V0	4	1		4%	14,3	6,2
V0	6	1		4%	22,5	11,1
V0	8	1		4%	32,2	16,2

A1	2 - 20	1		0	0
A1K a) -					
d)	2 - 20	1	1% - 4%	0	0
A1	2 - 20		1	0	0
A1	32		1	4,2	0
A1K a)	2 - 8		1	1%	0
A1K a)	10		1	1%	1,4
A1K a)	12		1	1%	4,6
A1K a)	14		1	1%	8,4
A1K b)	2 - 4		1	2%	0
A1K b)	6		1	2%	5,2
A1K b)	8		1	2%	10,6
A1K b)	10		1	2%	14,8
A1K c)	2 - 4		1	3%	0
A1K c)	6		1	3%	7,8
A1K c)	8		1	3%	14,2
A1K c)	10		1	3%	19,4
A1K d)	2		1	4%	0
A1K d)	4		1	4%	3,6
A1K d)	6		1	4%	11,4
A1K d)	8		1	4%	22,5

- V-Nr. = Versuchsnummer, V = angelegte Gleichspannung in Volt; AL nativ = Akzeptorlösung ohne Beladung mit Kohlendioxid; AL -CO₂ = Akzeptorlösung mit Kohlendioxid beladen; NaOH = Konzentration von Natriumhydroxid in der Akzeptorlösung in Gew%; KOH = Konzentration von Kaliumhydroxid in der Akzeptorlösung in Gew%; K = Gasvolumen das sich in der Kathodenkammer innerhalb der Versuchszeitraums gebildet hat in ml bei Normaldruck; A = Gasvolumen das sich in der Anodenkammer innerhalb der Versuchszeitraums gebildet hat in ml bei Normaldruck

Ansprüche

1. Verfahren zur selektiven Bindung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid in wässrigen Medien, charakterisiert durch die Schritte:
 - a) Bereitstellen einer wässrigen Akzeptorlösung, enthaltend mindestens eine Akzeptorverbindung, die eine freie Guanidino- und/oder Amidinogruppe aufweist,
 - b) Kontaktieren eines Gases, enthaltend Kohlendioxid, mit der Akzeptorlösung aus Schritt a),
 - c) Transportieren von gebundenem Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten in der Akzeptorlösung nach Schritt b) durch eine Trennmembran in ein wässriges Aufnahme- und Freisetzungsmedium; oder
Lagern und/oder Transportieren der Akzeptorlösung enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivate aus Schritt b).
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die Akzeptorverbindung eine Aminosäure ist und der pH der Akzeptorlösung in einem Bereich zwischen 8 und 13 liegt.
3. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem in Schritt b) das Kontaktieren ohne Druckbeaufschlagung der Akzeptorlösung erfolgt.
4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem nach Schritt b) oder c) der Schritt c1) oder d1) erfolgt: Freisetzung des in der Akzeptorlösung gebundenen Kohlendioxid als Gasphase.
5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Akzeptorlösung aus Schritt b) sich in einer Akzeptorkammer einer Elektrodialyse-Vorrichtung befindet oder in diese eingeleitet wird und der Transport von Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten gemäß Schritt c) mittels eines elektrischen Gradienten, der zwischen der Akzeptorkammer und einer Aufnahme- und Freisetzungskammer hergestellt wird, erfolgt, wobei die Akzeptorkammer(n) und die Aufnahme- und Freisetzungskammer(n) durch die Trennmembran voneinander separiert werden.
6. Verfahren gemäß Anspruch 5, wobei die Trennmembran eine Membran ist, die durchlässig ist für Ionen und/oder Gasmoleküle.
7. Verfahren gemäß Anspruch 5, wobei in der Aufnahme- und Freisetzungskammer eine Freisetzung des durch die Trennmembran transportierten Kohlendioxids/Kohlendioxid-Derivate in Form eines reinen Kohlendioxid-Gases mit > 98,5 Vol.% Kohlendioxid erfolgt.
8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem in der Aufnahme- und Freisetzungskammer sich das Aufnahme- und Freisetzungsmedium befindet, in dem sich mindestens eine Verbindung befindet, die mindestens eine Säuregruppe trägt und einen

isoelektrischen Punkt im Bereich zwischen 3 und 5 hat.

9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem eine oder mehrere Reaktionsverbindungen zur Reaktion und/oder Bindung von Kohlendioxid und/oder Carbonat/Hydrogencarbonat-Anionen in der Akzeptorlösung und/oder dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium vorliegt/vorliegen.

10. Verfahren gemäß einem der Ansprüchen 1 bis 9 bei dem nach Schritt b) das in der Akzeptorlösung gebundene Kohlendioxid mittels einer Reaktionsverbindung zu einer Kohlenstoffverbindung umgesetzt wird.

11. Verfahren gemäß einem der Ansprüchen 1 bis 10 bei dem nach Schritt c) das in dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium gebundene oder das transportierte und freigesetzte Kohlendioxid mittels einer Reaktionsverbindung zu einer Kohlenstoffverbindung umgesetzt wird.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 bei dem nach Schritt c) die Schritte c3') und c3) folgen:

c3') Einleiten des wässrigen Aufnahme- und Freisetzungsmediums enthaltend gebundenes Kohlendioxid/Kohlendioxid-Derivaten aus Schritt c) in eine Freisetzungsanordnung; und

c3) Freisetzen von Kohlendioxid als Gasphase aus dem Aufnahme- und Freisetzungsmedium enthaltend gebundenes Kohlendioxids/ Kohlendioxid-Derivate aus Schritt c3') in der Freisetzungskammer.

13. Verfahren gemäß einem der Ansprüchen 1 bis 12 bei dem eine kathodische Abscheidung von Kohlendioxid als reine Gasphase aus der wässrigen Akzeptorlösung erfolgt.

14. Verfahren gemäß einem der Ansprüchen 1 bis 13 wobei das Gas, enthaltend Kohlendioxid, vor dem Schritt b) mittels einer säurehaltigen Lösung gewaschen wird.

15. Aluminiumcarbonat und/oder Aluminiumhydrogencarbonat erhältlich nach dem Verfahren gemäß Anspruch 9, wobei die Reaktionsverbindung ein Aluminiumsalz, bevorzugt Aluminiumchlorid ist.