



(10) **DE 10 2022 102 323 A1** 2023.08.03

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 102 323.0**

(22) Anmeldetag: **01.02.2022**

(43) Offenlegungstag: **03.08.2023**

(51) Int Cl.: **B01D 53/04** (2006.01)

**B01D 53/62** (2006.01)

**B01D 53/26** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT, 38440  
Wolfsburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Gulde & Partner Patent- und  
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

(72) Erfinder:  
**Gröger, Oliver, 38102 Braunschweig, DE; Schütz,  
Christine, Dr., 38533 Vordorf, DE; Simon, Nadine,  
38442 Wolfsburg, DE; Schneider, Hartwig, 38124  
Braunschweig, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**WO 2021/ 089 916 A1**

**JP 2014- 83 488 A**

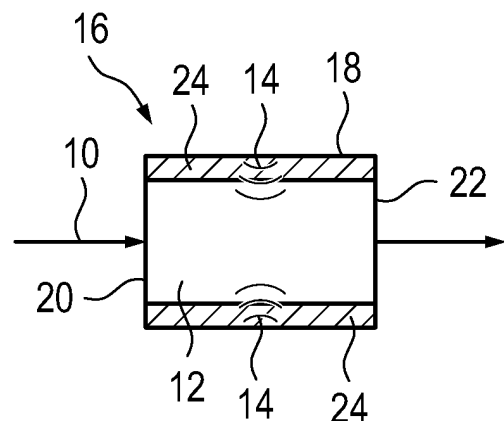
**NIGAR: Amine-Functionalized Mesoporous  
Silica: A Material Capable of CO<sub>2</sub> Adsorption and  
Fast Regeneration by Microwave Heating. In:  
AIChE, 2016, Vol. 62(2), S. 547 – 555**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Verminderung der Konzentration von CO<sub>2</sub> in einem CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstrom**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verminderung der Konzentration von CO<sub>2</sub> in einem CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstrom. Um den Energiebedarf zu optimieren, sind folgende Schritte vorgesehen: Adsorption von Wasser und CO<sub>2</sub> eines CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstroms an einem Adsorptionsmittel (12), wobei das Adsorptionsmittel ein Chemisorbent ist; Desorption des Wassers und/oder des CO<sub>2</sub>, wobei die Desorption durch Emittieren von elektromagnetischen Wellen (14) bewirkt wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verminderung der Konzentration von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in einem CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstrom.

**[0002]** Daneben betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Verminderung der Konzentration von CO<sub>2</sub> in einem CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstrom.

**[0003]** Die Notwendigkeit, den durch Treibhausgasemissionen verursachten globalen Klimawandel zu verlangsamen, ist sehr dringlich. Vor allem der Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Werte muss nachhaltig vermieden werden. Neben der Vermeidung und der Reduzierung von CO<sub>2</sub> sind Technologien zum Adsorbieren von CO<sub>2</sub> aus der Umgebungsluft, genannt „Direct Air Capture“ (DAC) geeignet, um durch „negative Kohlenstoffdioxidemissionen“ den Anteil an CO<sub>2</sub> in der Atmosphärenluft zu reduzieren. Die Entwicklung von geeigneten effizienten und energetisch sinnvollen Prozessen zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung sind essentiell. Eine Möglichkeit ist die Nutzung von Chemisorbenten zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre.

**[0004]** Nachteilig ist bei Chemisorbenten die meist gleichzeitige Adsorption von Wasser und CO<sub>2</sub> aus der Luft, die aber für eine hohe Adsorptionskapazität auch notwendig ist. Die Desorption der Spezies CO<sub>2</sub> und Wasser findet meist parallel in einer Stufe mittels Aufheizen des Adsorbents statt. Für eine hohe Desorptionsrate wird dieser Prozess meist mit Vakuum und Wasserdampf unterstützt. Aufheiz- und Abkühlungsphase sind dabei entscheidend für die benötigte Energiemenge und damit auch für die Plausibilität der Technologie. Eine bekannte Desorption mit der Unterstützung von Wärmetauschern hat einen hohen Energiebedarf und entsprechend lange Aufheiz- und Abkühlphasen.

**[0005]** Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Verminderung der Konzentration von CO<sub>2</sub> in einem CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstrom anzugeben, bei denen der Energiebedarf optimiert werden kann.

**[0006]** Diese Aufgabe ist bei der vorliegenden Erfindung zunächst durch die Merkmale des Kennzeichnungsteils des Patentanspruchs 1 gelöst. Dabei ist vorgesehen, dass das Verfahren folgende Schritte aufweist: Adsorption von Wasser und CO<sub>2</sub> eines CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstroms an einem Adsorptionsmittel, wobei das Adsorptionsmittel ein Chemisorbent ist; Desorption des Wassers und/oder des CO<sub>2</sub>, wobei die Desorption durch Emittieren von elektromagnetischen Wellen bewirkt wird.

**[0007]** Bei der Adsorption handelt es sich bei der vorliegenden Erfindung um eine Chemisorption, bei

der Moleküle an einem Adsorptionsmittel beziehungsweise Adsorbent gehalten werden. Bei der Chemisorption handelt es sich bei den haltenden Kräften um chemische Bindungen. Das zu adsorbierende Molekül (Adsorbat) und/oder das Adsorptionsmittel werden bei der Chemisorption reversibel chemisch verändert. Bei einem beispielhaften Atmosphärenluftstrom, also einem Luftstrom aus der Umgebung, der sowohl CO<sub>2</sub> als auch Wasser beziehungsweise Wasserdampf aufweist und das Adsorptionsmittel anströmt, werden sowohl Wasser als auch CO<sub>2</sub> adsorbiert.

**[0008]** Um eine Regeneration des Adsorptionsmittels zu bewirken, muss eine Desorption eingeleitet werden, durch die CO<sub>2</sub> und/oder Wasser wieder von dem Adsorptionsmittel gelöst werden. Dies wird durch Erwärmen der zu desorbierenden Moleküle erreicht, wodurch die Energie der Moleküle groß genug ist, um die chemischen Bindungen zu überwinden.

**[0009]** Eine solche Erwärmung wird bei der vorliegenden Erfindung durch elektromagnetische Wellen erreicht. Auf diese Weise werden die Dipol-Eigenschaften von Wasser und CO<sub>2</sub> ausgenutzt. Durch die elektromagnetischen Wellen können gezielt Wasser und CO<sub>2</sub> in kurzer Zeit derart erwärmt werden, dass die Desorption aktiviert wird. Ein Wärmetauscher zum Aufheizen der Moleküle wird nicht benötigt.

**[0010]** Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmale.

**[0011]** Bei einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Desorption des Wassers und/oder des CO<sub>2</sub> mittels Radiowellen bewirkt wird. Unter Radiowellen sind elektromagnetische Wellen in einem Bereich von 1 kHz bis 3 GHz zu verstehen. Ihre Wellenlänge liegt in einem Bereich zwischen 10 cm bis 100 km. Durch Radiowellen kann der Aufheizvorgang zum einen beschleunigt und zum anderen gut dosiert werden, sodass die Desorption effizient realisierbar ist.

**[0012]** Alternativ oder zusätzlich ist bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass die Desorption des Wassers und/oder des CO<sub>2</sub> mittels Mikrowellen bewirkt wird. Unter Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen in einem Bereich von 3 GHz bis 300 GHz. Die Mikrowellen können allein für den Aufheizvorgang genutzt werden oder zusammen mit Radiowellen verwendet werden. Auf diese Weise können optimierte Wellenlängen für jeweilige Adsorptionsmittel gefunden werden.

**[0013]** Vorzugsweise ist bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorge-

sehen, dass der Luftstrom ein Atmosphärenluftstrom ist. Somit ist es möglich, das CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu adsorbieren, wodurch eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz erreichbar ist.

**[0014]** Alternativ ist bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass der Luftstrom ein Abgasstrom, insbesondere aus Industrieprozessen ist.

**[0015]** Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine selektive Desorption vorgesehen, wobei durch Wahl der Frequenz und Energiemenge (Verschaltung von mehreren Mikrowellensendern zur Modulation der Leistung) der elektromagnetischen Wellen wahlweise CO<sub>2</sub> und/oder Wasser von dem Adsorptionsmittel desorbiert wird. Denkbar ist folglich, dass entweder Wasser oder CO<sub>2</sub> desorbiert werden. Auf diese Weise kann beispielsweise Wasser an die Atmosphäre abgegeben werden, wobei CO<sub>2</sub> weiterhin am Adsorptionsmittel verbleibt. Im Anschluss kann CO<sub>2</sub> durch geeignete Wellenlängenwahl und Leistung beziehungsweise Frequenzwahl der elektromagnetischen Wellen desorbiert und aufgefangen werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer mikrowellengesteuerten, mit Wasserdampf unterstützten Desorption. Hierbei können auch andere Schutzgase wie Stickstoff und/oder Argon verwendet werden. Durch die unterstützte Desorption mit Wasserdampf kann das Adsorptionsmittel vor Oxidation geschützt werden.

**[0016]** Dabei kann bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sein, dass die selektive Desorption derart eingestellt wird, dass die für das Adsorptionsmittel optimale Wassermenge im Adsorptionsmittel verbleibt. Durch die Nutzung der elektromagnetischen Wellen in einem Wellenlängenbereich, bei dem das im Sorbenten, also dem Luftstrom, enthaltene Wasser nicht verdampft beziehungsweise nicht angeregt wird, kann die optimale Menge an Wasser im Adsorptionsmittel eingestellt werden. Das CO<sub>2</sub> kann folglich auch selektiv entfernt werden.

**[0017]** Die zuvor genannte Aufgabe wird außerdem gelöst von einer vorgenannten Vorrichtung zur Verminderung der Konzentration von CO<sub>2</sub> in Atmosphärenluft, umfassend die miteinander in Wirkverbindung stehenden Komponenten: ein Adsorptionsmittel, wobei das Adsorptionsmittel ein Chemisorbent ist; mindestens eine Einrichtung zum Emittieren von elektromagnetischen Wellen, wobei die Einrichtung zum Emittieren von elektromagnetischen Wellen im Bereich des Adsorptionsmittels angeordnet ist.

**[0018]** Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung ist es auch möglich, das vorgenannte erfindungsge-

mäße Verfahren durchzuführen. Die obigen Ausführungen betreffend das erfindungsgemäße Verfahren gelten entsprechend auch für die erfindungsgemäße Vorrichtung.

**[0019]** Das Adsorptionsmittel kann dabei beispielsweise als Festbettschüttung in einem Behälter angeordnet sein, wobei der Behälter mindestens einen Einlass für die Atmosphärenluft beziehungsweise das Abgas und einen Auslass aufweist. Denkbar ist außerdem, dass mehrere Behälter vorgesehen sind, die nacheinander durchströmt werden. Durch den kaskadenartigen Aufbau kann die Adsorption beziehungsweise die Desorption effizienter gestaltet werden. Weiterhin ist denkbar, dass die Behälter nicht nacheinander sondern parallel durchströmt werden können. Auf diese Weise kann durch geeignete strömungstechnische Verbindungen und Ventile ein Behälter angeströmt werden, in dem das Adsorptionsmittel noch nicht gesättigt ist. In der Zeit kann die Desorption in einem parallelen Behälter durchgeführt werden, sodass während des Betriebs immer Wasser und CO<sub>2</sub> adsorbiert werden.

**[0020]** Stromabwärts der Festbettschüttung können weitere strömungstechnische Verbindungen vorgesehen sein, über die beispielsweise desorbiertes Wasser abgeschieden werden kann, oder CO<sub>2</sub> entsprechend zu einem Speicher befördert wird.

**[0021]** Bei einer ersten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, dass das Adsorptionsmittel ein Polyethylenimin und/oder aminfunktionalisierte mesoporöse Silikate aufweist. Durch Nutzung der vorgenannten Stoffe kann die Adsorption von Wasser und CO<sub>2</sub> mit einer hohen Effizienz durchgeführt werden.

**[0022]** Die verschiedenen, in dieser Anmeldung genannten Ausführungsformen der Erfindung sind, sofern im Einzelfall nicht anders ausgeführt, mit Vorteil miteinander kombinierbar.

**[0023]** Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnung erläutert. Es zeigt:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Teils eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verminderung der Konzentration von CO<sub>2</sub> in einem CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstrom.

**[0024]** **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines Verfahrens, bei dem CO<sub>2</sub> und Wasser aus einem Luftstrom 10 entfernt werden. Dazu ist vorgesehen, dass der Luftstrom an ein Adsorptionsmittel 12 herangeführt wird, wobei Wasser und CO<sub>2</sub> von dem Adsorptionsmittel 12 adsorbiert werden. Bei der Adsorption handelt es sich vorliegend um eine Chemisorption, bei der Moleküle an einem Adsorp-

tionsmittel 12 beziehungsweise Adsorbent gehalten werden. Bei der Chemisorption werden die Wasser- und CO<sub>2</sub>-Moleküle mittels chemischer Bindungen gehalten. Die zu adsorbierenden Moleküle beziehungsweise das Adsorptionsmittel 12 werden bei der Chemisorption reversibel chemisch verändert. Bei dem Luftstrom aus der Umgebung, der sowohl CO<sub>2</sub> als auch Wasser beziehungsweise Wasserdampf aufweist und das Adsorptionsmittel 12 anströmt, werden sowohl Wasser als auch CO<sub>2</sub> adsorbiert.

**[0025]** Im Anschluss an die Adsorption kann zur Regeneration des Adsorptionsmittels 12 eine Desorption gestartet werden. Eine Desorption wird durch Wärmeeintrag in Gang gesetzt, wodurch die Energie der Moleküle derart erhöht wird, dass sie groß genug ist, um die chemischen Bindungen zu überwinden.

**[0026]** Die Desorption wird mittels elektromagnetischer Wellen 14 gezielt eingeleitet. Wasser und CO<sub>2</sub> besitzen die physikalischen Eigenschaften eines Dipols, wodurch die Moleküle mittels elektromagnetischer Wellen 14 angeregt werden können. Durch den Energieeintrag der elektromagnetischen Wellen 14 reicht die Energie aus, um sich von dem Adsorptionsmittel zu lösen. Durch Anlegen eines Unterdrucks können CO<sub>2</sub> und Wasser ausgetrieben werden.

**[0027]** In **Fig. 1** wird das Verfahren anhand einer schematischen Darstellung einer Vorrichtung 16 dargestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist das Adsorptionsmittel 12 in einem Behälter 18 mit einem Einlass 20 und einem Auslass 22 angeordnet. Durch den Einlass 20 kann der Luftstrom 10 in den Behälter 18 eintreten. Durch den Auslass 22 verlässt der trockene und von CO<sub>2</sub> befreite Luftstrom den Behälter 18.

**[0028]** Im Behälter 18 ist um das Adsorptionsmittel 12 eine Einrichtung 24 zum Emittieren von elektromagnetischen Wellen angeordnet. Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel wird wahlweise dauerhaft oder stichprobenartig ein CO<sub>2</sub>-Schlupf gemessen. Die Messung findet am Auslass 22 aus Behälter 18 statt. Wenn die CO<sub>2</sub>-Konzentration zu groß ist, ist dies ein Hinweis darauf, dass das Adsorptionsmittel 12 kein CO<sub>2</sub> mehr adsorbieren kann. Daraufhin kann die Einrichtung 24 zum Emittieren von elektromagnetischen Wellen 14 aktiviert werden, wodurch die Desorption gestartet wird.

**[0029]** Bei dem Verfahren ist eine selektive Desorption vorgesehen. Durch Wahl der Frequenz beziehungsweise der Wellenlänge der elektromagnetischen Wellen 14 und der Energiemenge (Verschaltung von mehreren Mikrowellensendern zur Modulation der Leistung) kann CO<sub>2</sub> und/oder

Wasser von dem Adsorptionsmittel 12 desorbiert wird. Denkbar ist folglich, dass entweder Wasser oder CO<sub>2</sub> desorbiert wird. Auf diese Weise kann CO<sub>2</sub> aus dem Sorbent ausgetrieben werden und Wasser im Sorbent verbleiben. Damit reduziert sich der Energieaufwand, der sonst für das Austreiben des Wassers aus dem Sorbenten nötig ist, deutlich. Zudem wird für die Effizienz des Adsorbents immer eine gewisse Menge Wasser im Sorbenten benötigt. Es muss nicht wie bei anderen Verfahren das Wasser mit ausgetrieben werden und im Anschluss der Desorption der Adsorber wieder befeuchtet werden. Ein zu hoher Anteil von Wasser im Sorbenten kann durch gezieltes Desorbieren von Wasser erfolgen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer mikrowellengesteuerten, mit Wasserdampf unterstützten Desorption. Hierbei können auch andere Schutzgase wie Stickstoff und/oder Argon verwendet werden. Durch die unterstützte Desorption mit Wasserdampf kann das Adsorptionsmittel 12 vor Oxidation geschützt werden.

**[0030]** Idealerweise wird die selektive Desorption derart eingestellt, dass die für das Adsorptionsmittel 12 optimale Wassermenge im Adsorptionsmittel 12 verbleibt. Durch die Nutzung der elektromagnetischen Wellen 14 in einem Wellenlängenbereich, bei dem das im Sorbenten, also dem Luftstrom 10, enthaltene Wasser nicht verdampft beziehungsweise nicht angeregt wird, kann die optimale Menge an Wasser im Adsorptionsmittel 12 eingestellt werden. Das CO<sub>2</sub> kann folglich auch selektiv entfernt werden.

#### Bezugszeichenliste

10	Luftstrom
12	Adsorptionsmittel
14	Elektromagnetische Wellen
16	Vorrichtung
18	Behälter
20	Einlass
22	Auslass
24	Einrichtung zum Emittieren von elektromagnetischen Wellen
26	Motornahe Abgasreinigungseinrichtung
28	Erster Drei-Wege-Katalysator
30	Zweiter Drei-Wege-Katalysator
32	Abgasbrenner
34	Abgasnachbehandlungssystem
36	Abgaseinlass
38	Abgaskanal

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Verminderung der Konzentration von CO<sub>2</sub> in einem CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstrom (10), wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- a) Adsorption von Wasser und CO<sub>2</sub> eines CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstroms an einem Adsorptionsmittel (12), wobei das Adsorptionsmittel ein Chemisorbent ist;
- c) Desorption des Wassers und/oder des CO<sub>2</sub>, wobei die Desorption durch Emittieren von elektromagnetischen Wellen (14) bewirkt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Desorption des Wassers und/oder des CO<sub>2</sub> mittels Radiowellen bewirkt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Desorption des Wassers und/oder des CO<sub>2</sub> mittels Mikrowellen bewirkt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Luftstrom ein Atmosphärenluftstrom ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Luftstrom ein Abgasstrom, insbesondere ein Abgasstrom eines Industrieprozesses, ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine selektive Desorption vorgesehen ist, wobei durch Wahl der Frequenz der elektromagnetischen Wellen wahlweise CO<sub>2</sub> und/oder Wasser von dem Adsorptionsmittel desorbiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die selektive Desorption derart eingestellt wird, dass die für das Adsorptionsmittel optimale Wassermenge im Adsorptionsmittel verbleibt.

8. Vorrichtung (16) zur Verminderung der Konzentration von CO<sub>2</sub> in einem CO<sub>2</sub>- und wasserhaltigen Luftstrom (10), umfassend die miteinander in Wirkverbindung stehenden Komponenten:

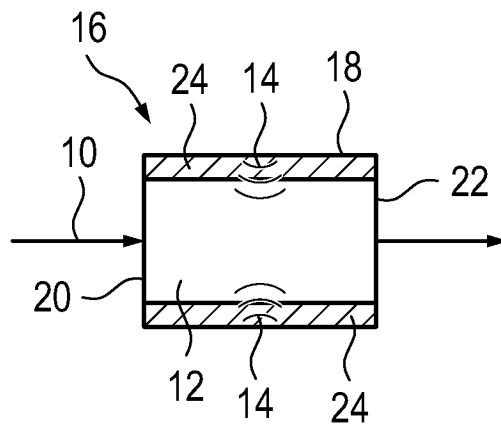
- A) ein Adsorptionsmittel (12), wobei das Adsorptionsmittel ein Chemisorbent ist;
- C) mindestens eine Einrichtung (18) zum Emittieren von elektromagnetischen Wellen (14), wobei die Einrichtung (18) zum Emittieren von elektromagnetischen Wellen (14) im Bereich des Adsorptionsmittels (12) angeordnet ist.

9. Vorrichtung (16) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Adsorptionsmittel (12) ein Polyethylenimin und/oder aminfunktionalisierte mesoporöse Silikate aufweist.

10. Vorrichtung (16) nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (16) dazu ausgestaltet ist, ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 durchzuführen.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**Fig. 1**