



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 031 311 A1** 2008.01.10

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 031 311.9**

(22) Anmeldetag: **06.07.2006**

(43) Offenlegungstag: **10.01.2008**

(51) Int Cl.⁸: **B01J 20/02** (2006.01)

B01D 53/26 (2006.01)

B01D 53/28 (2006.01)

(71) Anmelder:

MAHLE International GmbH, 70376 Stuttgart, DE

(74) Vertreter:

**Patentanwalts-Partnerschaft Rotermund + Pfuscher
+ Bernhard, 70372 Stuttgart**

(72) Erfinder:

Siegle, Sven, Dr., 71364 Winnenden, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 101 11 230 A1

DE 600 13 969 T2

US2006/00 99 398 A1

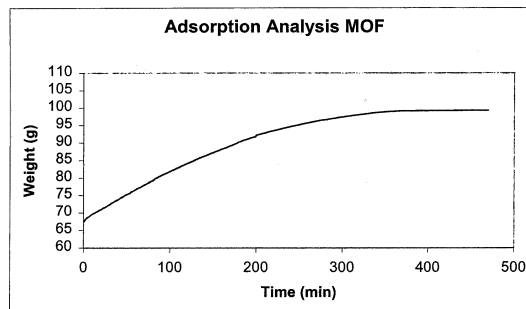
WO 02/0 70 526 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Lufttrockner, insbesondere für Druckluftbremsanlagen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Lufttrockner, der ein Trocknungsmaterial umfasst, wobei das Trocknungsmaterial ein metallorganisches Gerüstmaterial (MOF) umfasst, dessen Metalle aus der Gruppe der Übergangsmetalle ausgewählt sind und dessen Linker wenigstens bidentate Linker sind.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Lufttrockner, der insbesondere in Druckluftbremsanlagen von Fahrzeugen Anwendung findet.

[0002] Feuchte Luft in Druckluftbremsanlagen ist u.a. wegen der Gefahr des Einfrierens und der Korrosion äußerst gefährlich. Aus diesem Grunde mussten die Luftbehälter der ersten Druckluftbremsanlagen regelmäßig entwässert und zusätzlich Frostschutzpumpen vorgesehen werden.

[0003] Zwischenzeitlich ist man dazu übergegangen, die angesaugte Luft soweit zu trocknen, dass sie auch bei starker Abkühlung keine Feuchtigkeit mehr abgibt.

[0004] Die vom Kompressor kommende Luft kühlt zunächst am Druckregler und am Lufttrockner ab und verliert dabei schon Feuchtigkeit durch Kondensation. Im Lufttrockner wird sie dann über ein Trockenmittel geleitet, das umso mehr Wasserdampf bindet, je höher der Druck und je geringer die Temperatur ist. Nach Erreichen des Abschalt drucks im Druckregler wird ein in einem separaten kleinen Luftbehälter gespeicherter kleiner Teil der Druckluft unter geringem Druck zurück durch das Trockenmittel und dann ins Freie geführt.

[0005] Lufttrockner für den Einsatz in Druckluftbremsanlagen müssen über einen Bereich der Umgebungstemperatur des Fahrzeugs von -40°C bis 120°C , wenigstens jedoch von -30°C bis 80°C , eine effektive Trocknung der Luft bewirken, und sie müssen insbesondere auch bei einer relativen Luftfeuchtigkeit bis 100 % zuverlässig arbeiten.

[0006] Der Arbeitsdruck des Lufttrockners beträgt typischerweise max. 15 bar, die Arbeitstemperatur des Lufttrockners liegt bei ca. 80°C . Im Allgemeinen liegt der zu trocknende Volumenstrom bei ca. 1.000 Liter Luft/min. Die Drucktaupunktabsenkung des Lufttrockners muss mindestens 30°C betragen.

[0007] Die Lufttrocknung erfolgt in dem Lufttrockner durch Trocknungsmaterialien. Die Trocknungsmaterialien sind im Allgemeinen pulverförmige oder partikelförmige Teilchen, die sich durch eine große Oberfläche und ein gutes Wasseraufnahmevermögen auszeichnen. Infolge der gewünschten Regenerierung des Trocknungsmaterials mittels Druckluft muss sich das aufgenommene Wasser aus dem Trocknungsmaterial jedoch auch wieder schnell und auf einfache Weise entfernen lassen, d.h. die Absorption und Desorption des Wassers muss reversibel und die Sorptionsgeschwindigkeiten müssen hoch sein.

[0008] Nachdem die effektiven Ab- und Desorptionsgeschwindigkeiten auch von der Teilchengröße

abhängen, sollte keine wesentliche Veränderung der Partikelgrößen stattfinden, d.h. das Trocknungsmaterial sollte sowohl abriebfest sein als auch nicht verklumpen. Erforderlich ist zudem eine Wasseraufnahme von wenigstens 10 Gew.%, vorzugsweise wenigstens 15 Gew.% und besonders bevorzugt wenigstens 20 Gew.% des Gesamtgewichts des Trocknungsmaterials.

[0009] In den letzten Jahren sind in der Literatur neue metallorganische Gerüstmaterialien (metallorganic framework = MOF) beschrieben worden, die in Bezug auf Synthese, Struktur, katalytische Eigenschaften, ihre Eignung zur Gasspeicherung, insbesondere von Methan, Erdgas und Wasserstoff, untersucht worden sind (Schliche, Kratzke, Kaxsel „Improved synthesis, thermal stability and catalytic properties of the metal-organic framework compound $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ “ in „Microporous and Mesoporous Materials“ (2004), 73, 81–88; S. Kaskel „Poren per Baukasten“ in „Nachrichten aus der Chemie“ (2005), 53, S. 394 ff.; US 2003/0148165 A1; WO 02/070526 A1; US 6,893,564 62; Yaghi et al „Construction of porous solids from hydrogen-bonded metal complexes of 1,3,5-Benzenetricarboxylic acid“ in J. Am. Chem. Soc. (1996), 118, S. 9096 ff.; "Synthetic Strategies, Structure patterns, and emerging properties in the chemistry of modular porous Solids" in Acc. Chem. Res. 1998 (31) 474).

[0010] Bislang werden zur Lufttrocknung synthetisch hergestellte Zeolithe oder Silicagel eingesetzt. Diese zeichnen sich durch ein relativ hohes Wasseraufnahmevermögen aus.

[0011] Nachteilig an den Zeolithen ist der während des Gebrauchs auftretende Abrieb, insbesondere, wenn sie als Kugelschüttung Anwendung in Lufttrocknern finden. Bereits infolge der abriebbedingten Verkleinerung der Kugeloberfläche nimmt die Resorptionsgeschwindigkeit zu. Der durch den Abrieb entstehende Staub verklumpt zudem in Anwesenheit von Feuchtigkeit und verklebt/verklumpt weitere Zeolithpartikel miteinander. Die Größe und Form der Zeolithpartikel wird hierdurch erheblich verändert. Nachdem bei unregelmäßigen größeren Agglomeraten infolge der längeren mittleren Wegstrecke eines Wassermoleküls bei der Ab-/Desorption die Sorptionsgeschwindigkeiten abnehmen, kann letztendlich die erforderliche effektive und reversible Lufttrocknung nicht mehr gewährleistet werden.

[0012] Das durch den Abrieb entstehende Zeolithpulver weist einen weiteren Nachteil auf, denn der feine Pulverstaub gelangt in das Bremssystem und kann dort zu einer vollständigen Störung führen. Nachteilig an den synthetischen Zeolithen ist weiterhin deren aufwändige und damit kostenintensive Herstellung und die Begrenzung des Wasseraufnahmevermögens auf ca. 20 Gew%.

[0013] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, einen Lufttrockner vorzuschlagen, der die erforderliche Trocknungsleistung zeigt, sich mit Druckluft regenerieren lässt, der weitgehend abriebfest ist und nicht verklumpt und sich zudem kostengünstig herstellen lässt.

[0014] Erstaunlicherweise wurde festgestellt, dass ein wirksamer und kostengünstiger Lufttrockner für Druckluftbremsanlagen hergestellt werden kann, wenn dieser als Trocknungsmaterialien MOFs (metallorganische Frameworks) umfasst, deren Metalle aus der Gruppe der Übergangsmetalle, insbesondere der VIIIa, Ia und IIa Nebengruppe ausgewählt werden und deren Linker wenigstens bidentate, d.h. wenigstens zweizählige Linker sind.

[0015] Vorzugsweise sind die Metalle Cu, Zn, Co oder Ni und die wenigstens bidentate Linker aus der Gruppe der Benzoltricarboxylat (BTC), p-Benzoldicarboxylat (p-BDC), m-Benzoldicarboxylat (m-BDC), 1,4-dicarboxylat-2-brombenzol (Br-BDC), Tetramethyl-terephthalat (TMBDC), Tetrafluorterephthalat (TFBDC), Naphtalin-2,6-dicarboxylat (NDC), 2-diazobicyclo[2.2.2]oktan (DABCO), Biphenyldicarboxylat (BPDC), Triphenyldicarboxylat (TPDC), Benzol-1,3,5-tribenzoat (BTB), 4,4'-bipyridin, Adamantan-1,3,5-tricarboxylat (ATC), trans-1,2-bis(4-pyridyl)ethylen (bipyen), 2-amino-1,4-benzoldicarboxylat (ABDC), 2,3,5,6-tetramethyl-1,4-benzoldicarboxylat (TBDC), 2,5-Dihydroxybenzoesäure (HDHBC), N-Pyridylnicotinamid (PNA), Pyrazin-2,3-dicarboxylat (PZDC), 1,12-Dodecandinitril (DDN), 1,4-Bis(4-pyridyl)benzol, 9,10-Bis(4-pyridyl)anthracen, 4,4'-Bis(4-pyridyl)biphenyl, Azodibenzoat (ADB), cis,cis-1,3,5-Cyclohexantricarboxylat (CTC), 2,5-Dimethylpyrazin (DMPYZ), 2,4,6-Tri(4-pyridyl)-1,3,5-triazin (TPT), Acetylendicarboxylat (ADC), Methantetrabenzoat (MTB) ausgewählt. Vorzugsweise betragen die Porenvolumina der MOFs wenigstens 0,1 cm³/g und die spezifischen Oberflächen wenigstens 50 m²/g.

[0016] Beispiele der erfindungsgemäß als Trocknungsmaterialien einzusetzenden MOFs sind Cu₃(BTC)₂, [Zn₂(1,4-BDC)₂-(DABCO)], [Zn₂(1,4-BDC)(TMBDC)-(DABCO)], [Zn₂(1,4-NDC)₂(DABCO)], [Zn₂(TFBDC)₂-(DABCO)], [Zn₂(TMBDC)₂(BPY)], Cu₃(BTB)₃, [Zn(BDC)·(DMF)(H₂O)], Zn(ABDC)(DMF)·(C₅H₅Cl)_{0,25}, Zn₂(TBDC)₂(H₂O)_{1,5}(DMF)_{0,5}·(DMF)(H₂O), Co₃(BTC)₂·12H₂O, Ni₃(BTC)₂·12H₂O, Zn₃(BTC)₂·12H₂O, [Cu(DHBC)₂(4,4'-BPY)]·H₂O, [Co(NCS)₂(3-PNA)₂]_n, {[Ag(DDN)₂]·NO₃]_n, {[Zn₃(OH)₂(BPDC)₂·DEF·2H₂O]_n (DEF = N,N'-Diethylformamid), [Cu(1,4-BDC)(4,4'-BPY)_{0,5}]_n, {[Zn₄O(1,4-BDC)₃]·DMF·C₆H₅Cl]_n, [Cu(1,4-BDC)(4,4'-BPY)_{0,5}]_n, {[Cu₂(o-Br-1,4-BDC)₂(H₂O)₂]}₈ DMF·2H₂O]_n,

{[Cu₂₄(1,3-BDC)₂₄(DMF)₁₄(H₂O)₁₀]·50H₂O·6DMF·6EtOH]_n, {[Cu(4,4'-BPY)_{1,5}]·NO₃·1,5H₂O]_n, {[Zn(1,4-BDC)]·DMF·H₂O]_n, {[Zn₃(1,4-BDC)₃]·6MeOH]_n, {[Zn₂(1,3,5-BTC)(NO₃)]·5EtOH·H₂O]_n, {[Zn(1,4-BDC)(H₂O)·DMF]_n, Zn₂(BTC)(NO₃)·H₂O·(C₂H₅OH)₅, Zn₂(crotonat)₄(chinolin)₂, Zn₃(crotonat)₆(chinolin)₂, Cd(ATC)·[Cd(H₂O)₆](H₂O)₅, Zn₂(ATB)(H₂O)·(H₂O)₃(DMF)₃, Ni₂(ATC)(H₂O)₄·(H₂O)₄, Zn₂(ATC)·(C₂H₅OH)₂(H₂O)₂, Zn₂(MTB)(H₂O)₂·(DMF)₆(H₂O)₅, Zn₃O(HBTB)₂(H₂O)·(DMF)_{0,5}(H₂O)₃, Zn₂(BTC)(NO₃)·(H₂O)_{0,5}(C₂H₅OH) und Zn₂(BTC)(NO₃)·(H₂O)_{0,5}(C₂H₅OH)_{0,5}(DMF)_{2,5}.

[0017] Diese MOFs zeichnen sich durch reversible, hinreichend schnelle Wasseradsorption und Wasserdesorption aus, und zwar über einen Temperaturbereich von -40°C bis 120°C und bei einem Druck von wenigstens 1 bis über 15 bar. Weiterhin lässt sich das adsorbierte Wasser durch Einleiten von Luft, vorzugsweise unter einem geringen Druck, wieder entfernen, was die MOFs als Trocknungsmaterialien in automatischen Lufttrocknern geeignet macht.

[0018] Das Wasseraufnahmevermögen der MOFs beträgt wenigstens 20 Gew%.

[0019] Bevorzugt sind von diesen Verbindungen Metallkomplexe mit Benzoltricarboxylat als Linker, insbesondere Netzwerke der Formel M₃(BTC)₂, vorzugsweise mit einem Kristallwasser, wobei M ein Übergangsmetall und insbesondere Cu, Co, Ni oder Zn ist.

[0020] Besonders bevorzugt ist Cu₃(BTC)₂ (mit BTC = Benzol-1,3,5-tricarboxylat), das sich durch ein hohes spezifisches Porenvolumen von 0,41 cm³/g, einen Porendurchmesser von ca. 1,07 nm (Harvath-Kawazoe), ein hohes Wasseraufnahmevermögen, hohe Desorptionsgeschwindigkeiten und insbesondere eine einfache und kostengünstige Herstellung auszeichnet.

[0021] Im Vergleich zu Zeolithen, deren Herstellung hohe Temperaturen und eine Ionentauscherstufe erfordert, kann das Cu₃(BTC)₂ durch Behandlung einer Mischung aus Kupfernitratlösung mit einer ethanolischen Benzol-1,3,5-tricarbonsäurelösung im Autoklaven bei 393 K über eine Zeitdauer von 12 Stunden hergestellt werden, wie bei Schlichte et al in „Microporous and Mesoporous Materials“, 73, (2004) 81ff beschrieben.

[0022] In ähnlicher Weise lassen sich auch andere M₃(BTC)₂-Verbindungen, beispielsweise mit M = Co, Ni, Zn, synthetisieren, wie beispielsweise in J. Am. Chem. Soc. 118, (1996), 9096 beschrieben.

[0023] Die erfindungsgemäßen Lufttrockner können die MOFs als Schüttgut umfassen, insbesondere in Form einer Kugelschüttung, wobei die einzelnen Partikel eine etwa gleichmäßig große Kugelform besitzen sollten.

[0024] Die MOFs zeichnen sich durch Abreibfestigkeit auch bei Kugelschüttung aus, d.h. die Entstehung von Pulverstaub, der zu Störungen der Bremsanlage führt, wird vermieden. Auch ist die Verklumpungsneigung bei Verwendung der erfindungsgemäßen MOFs gering.

[0025] Weiterhin verfügen die MOFs über ein höheres Wasseraufnahmevermögen als die Zeolithe. Ein weiterer Vorteil der MOFs besteht darin, dass bei Aktivierung eine Farbänderung erfolgt. So ist beispielsweise $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ im feuchten Zustand türkisblau und im trockenen Zustand dunkelblau/violett, so dass die Überprüfung des Zustands des Trocknungsmittels optisch erfolgen kann.

[0026] Selbstverständlich besteht auch die Möglichkeit, die MOFs auf einem Trägermaterial zu fixieren. Als Trägermaterialien können beispielsweise Bahnmaterialien, insbesondere Vliese umfassende Materialien, eingesetzt werden. Besonders bevorzugt ist, dass das die erfindungsgemäßen Lufttrocknungsmaterialien umfassende Bahnmaterial, insbesondere Vlies, in einem Lufttrockner spiralförmig aufgewickelt für eine Luftdurchströmung in Richtung der Spiralachse einbringbar ist. Die Fixierung der Trocknungsmaterialien kann beispielsweise durch Verkleben erfolgen. Auch können die Trocknungsmaterialien beispielsweise zwischen zwei Vliesscheiben sandwichartig fixiert sein.

[0027] Bei der Anwendung auf einem Trägermaterial sollte die Partikelgröße der Trocknungsmaterialien unter 1,0 mm, vorzugsweise unter 0,5 mm und besonders bevorzugt unter 0,1 mm liegen, um sowohl eine effektive Trocknung als auch eine effektive Regenerierung zu erreichen.

[0028] Vorzugsweise sollten die Partikel auch im Wesentlichen kugelförmig sein, insbesondere, wenn sie in Form von Kugelschüttungen eingesetzt werden. Bei dieser Form der Verwendung sollten die Kugeln ca. 1–2 mm Durchmesser haben.

[0029] Natürliche Zeolithe wie Klinopilolith haben innere Oberflächen von ungefähr $360 \text{ m}^2/\text{g}$ und liegen damit deutlich unter dem Wert für Cu_3BTC_2 . Andere MOFs zeigen noch deutlich höhere Oberflächen wie zum Beispiel MOF-5 mit einer Oberfläche von $2900 \text{ m}^2/\text{g}$ oder MOF-177 mit $4500 \text{ m}^2/\text{g}$ („Poren per Baukasten“, S.Kaskel, Nachrichten aus der Chemie 53, April 2005, Seite 394). Oberflächen synthetisch hergestellter Zeolithe variieren stark. Das jedoch am häufigsten angewandte Zeolith in der Industrie, Zeo-

lith 4A, hat eine Oberfläche von $1560 \text{ m}^2/\text{g}$ gemäß der Datenbank der IZA (International Zeolithe Association).

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Vergleichsversuchen beschrieben.

1. Qualitative Beschreibung der Verklumpungsversuche:

[0031] Eine definierte Menge von natürlichem Zeolithpulver und $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ (jeweils 5 g) wurden jeweils in eine Petrischale gegeben und tropfenweise mit 5 ml Wasser versetzt. Dabei wurde beobachtet, dass das Zeolithpulver das Wasser vollständig aufsaugt, ähnlich wie ein Schwamm, wohingegen das $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ sich nicht mit dem Wasser vermischte.

[0032] Anschließend wurden die Proben im Trockenschrank bei 110°C 2 Stunden getrocknet.

[0033] Das Ergebnis zeigt, das $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ annähernd unverändert ist, wohingegen das Zeolithpulver ein festes Agglomerat gebildet hat.

2. Vergleich der Adsorption

[0034] Zur Bestimmung der Adsorption wurden $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ Proben zunächst bei 200°C getrocknet. Anschließend wurden die Proben in ein mit Wasser gefülltes und geschlossenes Gefäß gestellt und die Gewichtszunahme alle zwei Minuten mit einer Analysenwaage gemessen. [Fig. 1](#) zeigt das Ergebnis des Experimentes. Die Wasseradsorption ist vollständig reversibel, die Probe hat nach ca. 5 Stunden ihr ursprüngliches Gewicht erreicht, die Wasseraufnahme beträgt ca. 40% des Gesamtgewichtes. Damit erfüllt das Material eine wichtige Eigenschaft für die Applikation im Lufttrockner, da eine Regenerierung des Materials während des Betriebes unausweichlich ist. Ein nicht zu regenerierendes Material könnte nur einmalig benutzt werden und wäre somit untauglich.

3. Vergleich der Desorption

[0035] Für die Desorptionsmessungen wurden die Proben zunächst 24 Std. in einem mit Wasser gefüllten Exsikkator konditioniert. Anschließend wurden die Proben in einer Analysenwaage mit eingebauter Halogenlampe für 15 Minuten bei 200°C erhitzt, wobei die Gewichtsabnahme pro Zeiteinheit automatisch durch das Gerät registriert wurde.

[0036] Die Desorptionsmessungen an dem besonders bevorzugten MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ sind im Vergleich zu den Desorptionsmessungen an synthetischem und natürlichem Zeolith in [Fig. 2](#) dargestellt.

[0037] [Fig. 2](#) zeigt die Wasserdesorption von

$\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$, natürlichem Zeolith Clinopliolith und 4A Zeolith der Firma UOP. Die Trockenperlen wurden zunächst zerrieben, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Da die Trockenperlen während des Herstellungsprozesses mit einem Binder versetzt wurden, muss eine Absenkung des Desorptionsvermögens berücksichtigt werden. Einen direkten Vergleich liefern aber die Daten des unbehandelten natürlichen Zeolithen. Der Gewichtsverlust von $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ beträgt fast 40% verglichen mit 20% Gewichtsabnahme beim Zeolith.

[0038] MOFs zeigen somit eine geringe Neigung zur Agglomeratbildung und stellen damit eine Alternative zum industriell angewandten Zeolith dar. Ein eventuelles Kondensieren von Wasser in der Lufttrocknerpatrone stellt hier zwar auch ein Problem dar, die Funktionsfähigkeit kann hier aber wiederhergestellt werden, da eine Verklumpung nicht stattfindet.

Patentansprüche

1. Lufttrockner, der ein Trocknungsmaterial umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Trocknungsmaterial ein metallorganisches Gerüstmaterial (MOF) umfasst, dessen Metalle aus der Gruppe der Übergangsmetalle ausgewählt sind und dessen Linker wenigstens bidentate Linker sind.

2. Lufttrockner gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Metalle aus der Gruppe der Nebengruppenelemente der VIII, I. oder II Gruppe ausgewählt werden und insbesondere Co, Ni, Cu oder Zn sind.

3. Lufttrockner gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens bidentate Linker aus der Gruppe der Benzoltricarboxylat (BTC), p-Benzoldicarboxylat (p-BDC), m-er Benzoldicarboxylat (m-BDC), 1,4-dicarboxylat-2-brombenzol (Br-BDC), Tetramethyl-terephthalat (TMBDC), Tetrafluorterephthalat (TFBDC), Naphtalin-2,6-dicarboxylat (NDC), 2-diazobicyclo[2.2.2.]oktan (DABCO), Biphenyldicarboxylat (BPDC), Triphenyldicarboxylat (TPDC), Benzol-1,3,5-tribenzoat (BTB), 4,4'-bipyridin, Adamantan-1,3,5-tricarboxylat (ATC), trans-1,2-bis(4-pyridyl)ethylen (bipyen), 2-amino-1,4-benzoldicarboxylat (ABDC), 2,3,5,6-tetramethyl-1,4-benzoldicarboxylat (TBDC), 2,5-Dihydroxybenzoesäure (HDHBC), N-Pyridylnicotinamid (PNA), Pyrazin-2,3-dicarboxylat (PZDC), 1,12-Dodecandinitril (DDN), 1,4-Bis(4-pyridyl)benzol, 9,10-Bis(4-pyridyl)anthracen, 4,4'-Bis(4-pyridyl)biphenyl, Azodibenzoat (ADB), cis,cis-1,3,5-Cyclohexantricarboxylat (CTC), 2,5-Dimethylpyrazin (DMPYZ), 2,4,6-Tri(4-pyridyl)-1,3,5-triazin (TPT), Acetylendicarboxylat (ADC), Methantetrabenzoat (MTB) ausgewählt werden.

4. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis

3, dadurch gekennzeichnet, dass die MOFs aus der Gruppe $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$, $[\text{Zn}_2(1,4\text{-BDC})_2\text{-(DABCO)}]$, $[\text{Zn}_2(1,4\text{-BDC})(\text{TMBDC})\text{-(DABCO)}]$, $[\text{Zn}_2(1,4\text{-NDC})_2(\text{DABCO})]$, $[\text{Zn}_2(\text{TFBDC})_2\text{-(DABCO)}]$, $[\text{Zn}_2(\text{TMBDC})_2(\text{BPY})]$, $\text{Cu}_3(\text{BTB})_3$, $[\text{Zn}(\text{BDC})\text{-(DMF)}(\text{H}_2\text{O})]$, $\text{Zn}(\text{ABDC})(\text{DMF})\text{-(C}_6\text{H}_5\text{Cl)}_{0,25}$, $\text{Zn}_2(\text{TBDC})_2(\text{H}_2\text{O})_{1,5}(\text{DMF})_{0,5}(\text{DMF})(\text{H}_2\text{O})$, $\text{Co}_3(\text{BTC})_2\text{·}12\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}_3(\text{BTC})_2\text{·}12\text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}_3(\text{BTC})_2\text{·}12\text{H}_2\text{O}$, $[\text{Cu}(\text{DHBC})_2(4,4'\text{-BPY})\text{·H}_2\text{O}]$, $[\text{Co}(\text{NCS})_2(3\text{-PNA})_2]_n$, $\{[\text{Ag}(\text{DDN})_2]\text{·NO}_3\}_n$, $\{[\text{Zn}_3(\text{OH})_2(\text{BPDC})_2\text{·DEF·}2\text{H}_2\text{O}]_n (\text{DEF} = \text{N,N'-Diethylformamid})$, $[\text{Cu}(1,4\text{-BDC})(4,4'\text{-BPY})_{0,5}]_n$, $\{[\text{Zn}_4\text{O}(1,4\text{-BDC})_3]\text{·DMF·C}_5\text{H}_5\text{Cl}\}_n$, $[\text{Cu}(1,4\text{-BDC})(4,4'\text{-BPY})_{0,5}]_n$, $\{[\text{Cu}_2(\text{o-Br-}1,4\text{-BDC})_2(\text{H}_2\text{O})_2]\text{·}8\text{DMF·}2\text{H}_2\text{O}\}_n$, $\{[\text{Cu}_{24}(1,3\text{-BDC})_{24}(\text{DMF})_{14}(\text{H}_2\text{O})_{10}]\text{·}50\text{H}_2\text{O·}6\text{DMF·}6\text{EtOH}\}_n$, $\{[\text{Cu}(4,4'\text{-BPY})_{1,5}]\text{·NO}_3\text{·}1,5\text{H}_2\text{O}\}_n$, $\{[\text{Zn}(1,4\text{-BDC})]\text{·DMF·H}_2\text{O}\}_n$, $\{[\text{Zn}_3(1,4\text{-BDC})_3]\text{·}6\text{MeOH}\}_n$, $\{[\text{Zn}_2(1,3,5\text{-BTC})(\text{NO}_3)]\text{·}5\text{EtOH·H}_2\text{O}\}_n$, $\{[\text{Zn}(1,4\text{-BDC})(\text{H}_2\text{O})\text{·DMF}]\}_n$, $\text{Zn}_2(\text{BTC})(\text{NO}_3)\text{·H}_2\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})_5$, $\text{Zn}_2(\text{crotonat})_4(\text{chinolin})_2$, $\text{Zn}_3(\text{crotonat})_6(\text{chinolin})_2$, $\text{Cd}(\text{ATC})\text{·}[\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{H}_2\text{O})_5$, $\text{Zn}_2(\text{ATB})(\text{H}_2\text{O})\text{·}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{DMF})_3$, $\text{Ni}_2(\text{ATC})(\text{H}_2\text{O})_4\text{·}(\text{H}_2\text{O})_4$, $\text{Zn}_2(\text{ATC})\text{·}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$, $\text{Zn}_2(\text{MTB})(\text{H}_2\text{O})_2\text{·}(\text{DMF})_6(\text{H}_2\text{O})_5$, $\text{Zn}_3\text{O}(\text{HBTB})_2(\text{H}_2\text{O})\text{·}(\text{DMF})_{0,5}(\text{H}_2\text{O})_3$, $\text{Zn}_2(\text{BTC})(\text{NO}_3)\text{·}(\text{H}_2\text{O})_{0,5}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$ und $\text{Zn}_2(\text{BTC})(\text{NO}_3)\text{·}(\text{H}_2\text{O})_{0,5}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})_{0,5}(\text{DMF})_{2,5}$ ausgewählt werden.

5. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Porenvolumina der MOFs wenigstens 0,1 cm^3/g betragen.

6. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die spezifische Oberfläche der MOFs wenigstens 50 m^2/g beträgt.

7. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass es mit Druckluft regenerierbar ist.

8. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Trocknungsmaterial weitgehend abriebfest ist.

9. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Wasseradsorption und Wasserdesorption im Wesentlichen reversibel ist.

10. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Trocknungsmaterial in Anwesenheit von Wasser nicht verklumpt.

11. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass es die MOFs als

Kugelschüttung umfasst.

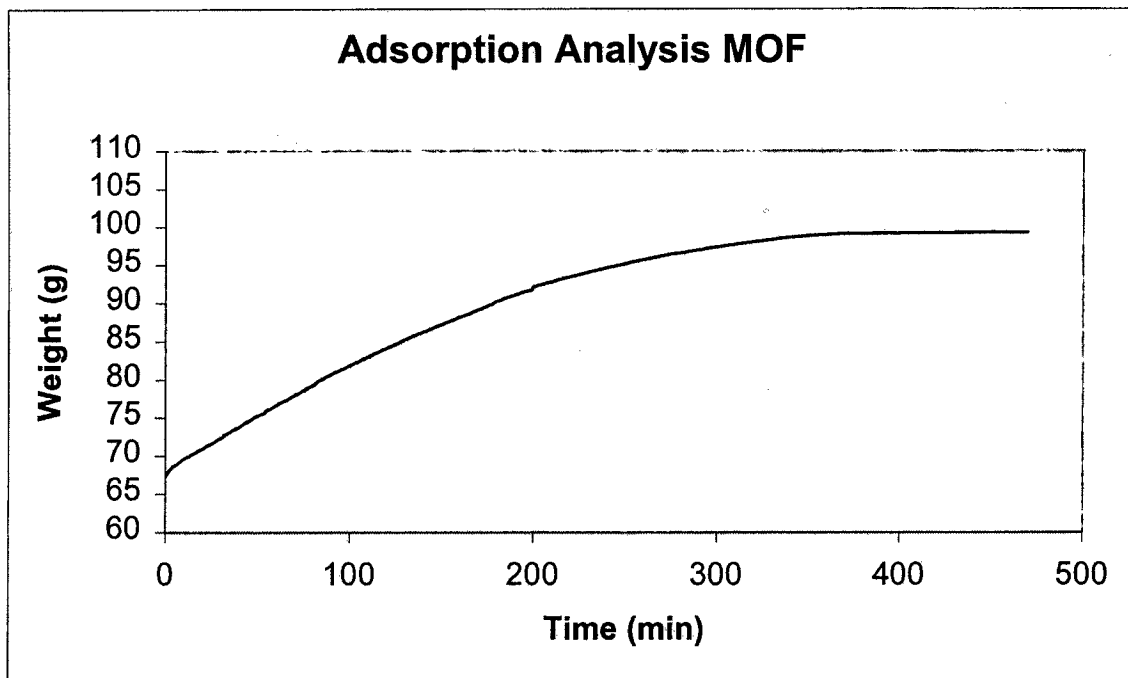
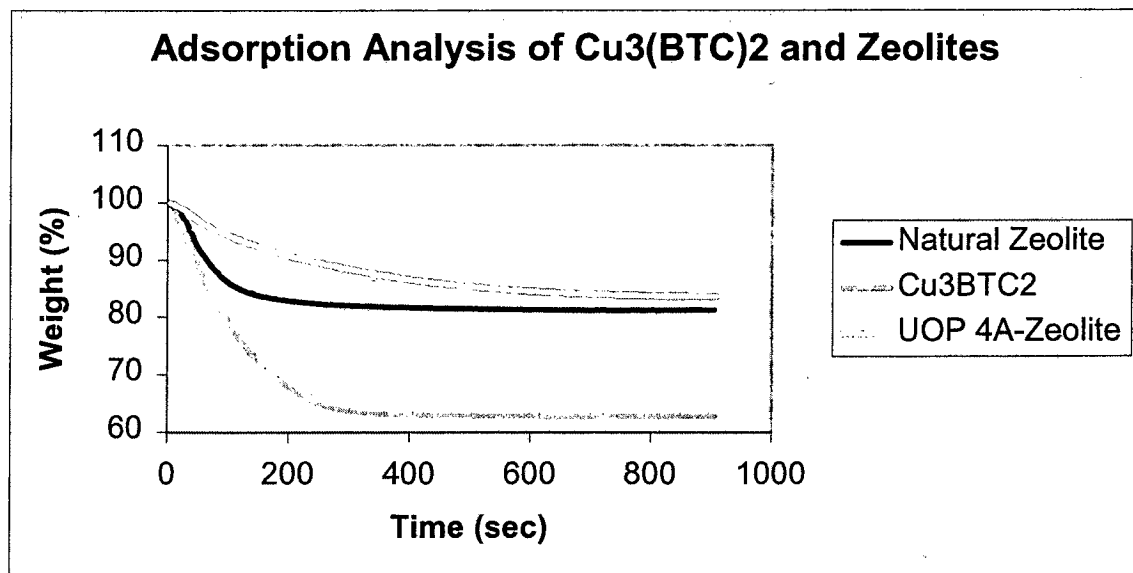
12. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die MOFs auf einem Trägermaterial fixiert sind.

13. Lufttrockner nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Wasseraufnahmevermögen der MOFs wenigstens 20 Gew% beträgt.

14. Verwendung des Lufttrockners gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 in Druckluftbremsanlagen von Fahrzeugen.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Figur 1: Adsorption von Wasser an $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ Figur 2: Vergleich der Sorptionskapazität von $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ und Zeolithen