

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. Juni 2020 (18.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/120142 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
C09D 183/04 (2006.01) F28F 13/18 (2006.01)  
F25B 17/08 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/082820
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
28. November 2019 (28.11.2019)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2018 132 348.4  
14. Dezember 2018 (14.12.2018) DE
- (71) Anmelder: **SORPTION TECHNOLOGIES GMBH**  
[DE/DE]; Christaweg 52, 79114 Freiburg (DE).
- (72) Erfinder: **CALABRESE, Luigi**; VIA CONSOLARE POMPEA CPL LE SERRE, 98165 Ganzirri (IT). **PRO-VERBIO, Edoardo**; Via Consolare Pompea 1, 98168 Messina (IT). **BRUZZANITI, Paolo, Giovanni**; Via La Verde 60, Samo, 89030 Reggio Calabria (IT). **FRENI, Angelo**;

Via la Farina 183, 98123 Messina (IT). **MITTELBACH, Walter**; Schneebergstrasse 18c, 79111 Freiburg (DE).

- (74) **Anwalt: KRUSPIG, Volkmar**; Widenmayerstr. 47, 80538 München (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,

(54) **Title:** COATING MATERIAL FOR PRODUCING AN ADSORBENT, POROUS, FLEXIBLE COATING FOR A HEAT EXCHANGER AND METHOD FOR PRODUCING SAID COATING MATERIAL

(54) **Bezeichnung:** BESCHICHTUNGSMATERIAL ZUR HERSTELLUNG EINER ADSORBIERENDEN, PORÖSEN, FLEXIBLEN BESCHICHTUNG FÜR EINEN WÄRMETAUSCHER UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG

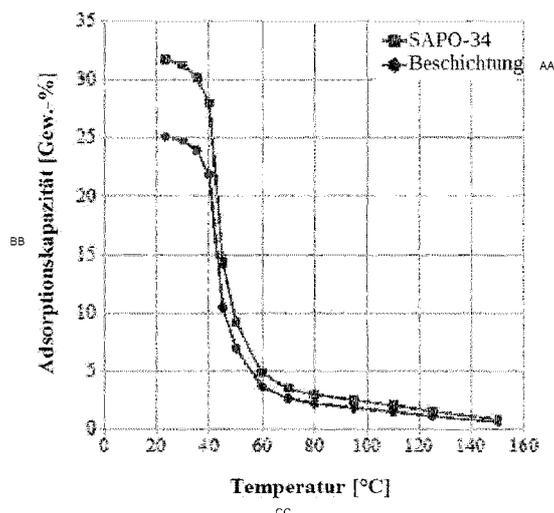


Fig. 1

AA Coating  
BB Adsorption capacity [wt%]  
CC Temperature [°C]

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for producing a coating material, comprising the following steps: producing a mixture of hydroxyl-terminated siloxane, and siloxane having at least three functional hydrides, and/or silane comprising at least three hydrolyzable groups; adding an organic solvent to the mixture; homogenizing the mixture; adding an adsorption material to the mixture; and adding a catalyst to the mixture. The invention further relates to a coating material according to the invention, to a method for coating a device, and to a heat exchanger.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Beschichtungsmaterials angegeben, aufweisend die folgenden Schritte: Herstellen einer Mischung aus Hydroxyl-terminiertem Siloxan, und Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden und/oder Silan, das mindestens drei hydrolysierbare Gruppen aufweist; Hinzufügen eines organischen Lösungsmittels zu der Mischung; Homogenisieren der Mischung; Hinzufügen eines Adsorptionsmaterials zu der Mischung; und Hinzufügen eines Katalysators zu der Mischung. Darüber hinaus werden ein erfindungsgemäßes Beschichtungsmaterial, sowie ein Verfahren zur Beschichtung einer Vorrichtung und ein Wärmetauscher angegeben.



WO 2020/120142 A1

LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,  
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,  
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

---

Beschichtungsmaterial zur Herstellung einer adsorbierenden, porösen, flexiblen Beschichtung für einen Wärmetauscher und Verfahren zu dessen Herstellung

---

### Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Beschichtungsmaterials, ein Beschichtungsmaterial, ein Verfahren zum Beschichten einer Vorrichtung, sowie einen Wärmetauscher.

Bei der Leistungsoptimierung von Wärmepumpen und Kältemaschinen spielt die Optimierung des Wärmetauschers eine entscheidende Rolle. Im Falle von Adsorptionskältemaschinen und –wärmepumpen werden Wärmetauscher mit einem Adsorptionsmaterial beschichtet, um die Adsorption eines gasförmigen Mediums an dem Wärmetauscher zu begünstigen. Die Verbesserung der Adsorptionseigenschaften am Wärmetauscher ist ein Schlüsselfaktor zur Optimierung der Wärmeübertragung am Wärmetauscher und damit ein wesentlicher Aspekt für die Leistungsoptimierung der Kältemaschine bzw. des Wärmetauschers.

Es besteht daher ein Bedarf an Beschichtungsmaterialien, mit dem die Adsorptionsleistung am Wärmetauscher optimiert werden kann. Zeolithe gelten als eine vielversprechende Gruppe von Adsorptionsmaterialien für die Adsorption von Wasser in Adsorptionskältemaschinen und –wärmepumpen. Beispielsweise gilt SAPO-34 als ein vielversprechender Kandidat für den Einsatz als Adsorptionsmaterial bei Niedertemperatur-Wärmemaschinen.

Ein wesentlicher Aspekt der Adsorptionsoptimierung ist die Fixierung des Adsorptionsmaterials am Wärmetauscher. Adsorptionsmaterialien können einerseits mit einem Bindemittel am Wärmetauscher fixiert werden. Das erleichtert die Auftragung des Bindemittels, führt aber zu Nachteilen hinsichtlich dem thermischen Kontakt des Adsorptionsmittels zum Wärmetauscher. Zudem ist aufgrund des Bindemittels häufig nur eine begrenzte mechanische Haltbarkeit und Festigkeit erreichbar.

Alternativ wurde vorgeschlagen, Zeolithe *in situ* an den Wärmetauscher auskristallisieren zu lassen. Dies führt zu einem nahezu perfekten thermischen Kontakt der Zeolithe mit der Wärmetauscheroberfläche. Der Prozess ist jedoch relativ komplex und teuer und erfordert lange Behandlungszeiten. Darüber hinaus lassen sich mit dieser Methode nur Aluminiumoberflächen beschichten, was eine starke Einschränkung hinsichtlich der Wahl der Wärmetauscher darstellt.

Im Lichte der obigen Ausführungen ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Steigerung der Adsorptionsleistung für möglichst viele Bauarten von Wärmetauschern zu erreichen, die Leistung von Adsorptionskältemaschinen und –wärmepumpen zu verbessern, die Lebensdauer der Wärmetauscher zu erhöhen und dabei die Herstellungskosten zu senken.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung eines Beschichtungsmaterials gemäß Anspruch 1, ein Beschichtungsmaterial gemäß Anspruch 15, ein Verfahren zum Beschichten einer Vorrichtung gemäß Anspruch 26, sowie einen Wärmetauscher gemäß Anspruch 33 gelöst.

Insbesondere wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines Beschichtungsmaterials, aufweisend die folgenden Schritte:

- Herstellen einer Mischung aus
  - Hydroxyl-terminiertem Siloxan und
  - Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden und/oder Silan, das mindestens drei hydrolisierbare Gruppen aufweist;
- Hinzufügen eines organischen Lösungsmittels zu der Mischung;
- Homogenisieren der Mischung;
- Hinzufügen eines Adsorptionsmaterials zu der Mischung; und
- Hinzufügen eines Katalysators zu der Mischung.

Ein wesentlicher Punkt der Erfindung besteht in der Verwendung der Mischung aus Hydroxyl-terminiertem Siloxan und mindestens trifunktionalem Hydrid-Siloxan oder Silan als matrixbildende Komponenten. Das Hydroxyl-terminierte Siloxan dient als grundlegendes Monomer für die Ausbildung einer Beschichtungsmatrix, während die trifunktionale Komponente (Siloxan mit mindestens drei funktionalen

Hyriden und/oder Silan mit mindestens drei hydrolysierbaren Gruppen) als Linker zur Verbindung der Monomere dient.

Wesentlich ist hierbei die Verwendung von Linkern mit mindestens drei funktionalen Gruppen. Dies ermöglicht die Ausbildung eines dreidimensionalen Netzwerks, das zur Ausbildung einer geschlossenen, porösen Beschichtung führt. Die matrixbildenden Silanol- und Siloxan-Komponenten sorgen für die Ausbildung einer schaumartigen, porösen Struktur, in die das Adsorptionsmaterial eingebettet ist.

Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren erlaubt dabei den Einsatz einer breiten Palette von festen Adsorptionsmaterialien, die durch die Silanol- und Siloxan-Komponenten mit hoher Bindungsfestigkeit auf Wärmetauscher-Oberflächen angebracht werden können.

Die Zusammensetzung des erfindungsgemäß hergestellten Beschichtungsmaterials führt zur Ausbildung einer Beschichtung mit geschlossener poröser Struktur, die offen gegenüber Wasserdampf ist, aber geschlossen gegenüber flüssigem Wasser. Dadurch kann Korrosion an der Oberfläche eines Wärmetauschers unter dem Beschichtungsmaterial vorgebeugt werden, was die Lebensdauer des Wärmetauschers erhöht – insbesondere bei den üblichen Lamellenwärmetauschern mit Aluminiumlamellen und Kupferrohren. Gleichzeitig wird die Adsorptionsleistung des Adsorptionsmaterials durch die Silan-Siloxanmatrix nicht behindert, so dass die Adsorptionsleistung optimiert werden kann.

Mit dem erfindungsgemäßen Beschichtungsmaterial kann eine Beschichtung auf nahezu allen gängigen Wärmetauschern ausgebildet werden. Die Beschichtung zeichnet sich aufgrund der Silan-Siloxanmatrix durch eine sehr hohe mechanische Flexibilität aus, so dass keine Risse der Beschichtung bei Verformungen am Wärmetauscher auftreten.

Das Mischen des Hydroxyl-terminierten Siloxans mit den Linkern kann durch einfaches mechanisches Rühren, beispielsweise mit einem Löffel, einem mechanischen Mischer oder einem Magnetrührer erfolgen.

Vorzugsweise beträgt das Molekulargewicht des Hydroxyl-terminierten Siloxans maximal 150.000, weiter vorzugsweise maximal 18.000. Das maximale

Molekulargewicht der Hydrid-terminierten Siloxanverbindung beträgt vorzugsweise 10.000, weiter bevorzugt 1.400.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Hydroxyl-terminierte Siloxan aus Silanol-terminierten Polydimethylsiloxanen, Copolymeren aus Silanol-terminiertem Diphenylsiloxan und Dimethylsiloxan, Silanol-terminiertem Polydiphenylsiloxan, Silanol-terminiertem Methylphenylpolysiloxan, Silanol-terminiertem Polytrifluorpropylmethylsiloxan, Poly(Dimethylsiloxan), bis(hydroxyalkyl)-terminiertem Polydimethylsiloxan, Hydroxapropyl-terminiertem Polydimethylsiloxan, oder einer Mischung der genannten Stoffe hergestellt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden gebildet aus: Hydrid-terminierten Polydimethylsiloxanen; monodispersen, Hydrid-terminiertem Polydimethylsiloxan; Polymethylhydrosiloxanen, Trimethylsiloxy-terminiert; Methylhydrosiloxan-Dimethylsiloxan-Copolymeren, Trimethylsiloxy-terminiert; Methylhydrosiloxan-Dimethylsiloxan-Copolymeren, Hydrid-terminiert; Methylhydrosiloxan-Phenylmethylsiloxan-Copolymeren, Hydrid-terminiert; oder Copolymeren und/oder Terpolymeren aus Hydrid-terminiertem Methylhydrosiloxan und Octylmethylsiloxan; oder einer Mischung der genannten Stoffe.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform hat das Verhältnis von Hydriden zu Hydroxyl-funktionalisierten Siloxan-Verbindungen in der Mischung einen Wert zwischen 0 und 4. Damit kann eine optimale Struktur der porösen Silan-Siloxanmatrix bei gleichzeitig hervorragender Anbindung des Adsorptionsmaterials an die Matrix erreicht werden. Besonders bevorzugt ist hierbei ein Wert für das Verhältnis zwischen 1,5 und 2,5.

Es ist weiterhin bevorzugt, dass das organische Lösungsmittel kein Wasser enthält oder im wesentlichen wasserfrei ist. Es wurde festgestellt, dass bei der Verwendung von Wasser als Lösungsmittel auch bei intensivem Mischen eine Emulsionsbildung der matrixbildenden Siloxan- und Silankomponenten auftritt. Dies führt bei der Bildung der Beschichtung zu großen Inhomogenitäten. Mit der Verwendung eines organischen, im Wesentlichen wasserfreien Lösungsmittels kann eine gute Homogenität der Mischung erreicht werden. Unter „Im Wesentlichen wasserfrei“ soll hierbei ein Wassergehalt von weniger als 10% verstanden werden, insbesondere im Falle von Ethanol.

Vorzugsweise besteht das organische Lösungsmittel aus Ethanol, Aceton, Tetrahydrofuran (THF) oder Dimethylformamid (DMF), oder einer Mischung aus diesen, besonders vorzugsweise aus einer Mischung aus Ethanol und Aceton. Die Mischung aus Ethanol und Aceton ist bevorzugt, da diese Stoffe gesundheitlich unbedenklich und kostengünstig sind. Aceton ist insbesondere in der Lage, mit der Silan-Siloxanmatrix zu interagieren, was zu einer Verlängerung der Polymerketten führt. Dadurch wird die Interaktion zwischen den verschiedenen Komponenten der Mischung erleichtert und eine bessere Vermischung der Bestandteile erzielt. THF und DMF bieten den Vorteil, dass sie eine hohe Löslichkeit für die Bestandteile der Silan-Siloxanmatrix bereitstellen.

Mit dem Gehalt des organischen Lösungsmittels kann die Viskosität der Mischung gesteuert werden – ein höherer Gehalt an organischem Lösungsmittel führt zu einer niedrigen Viskosität der Mischung und umgekehrt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform enthält das Adsorptionsmaterial feste Sorbentien mit freien Hydroxyl-Gruppen, Kieselgel, Aktivkohle, Salzhydrate, MOFs (metal organic frameworks) und/oder Zeolith.

Wenn das Adsorptionsmaterial Kieselgel enthält, ist es bevorzugt, das Kieselgel vor dem Hinzufügen zu der Mischung zu funktionalisieren. Unter Funktionalisierung wird hierbei eine Oberflächenbehandlung des Kieselgels verstanden, bei der die Anzahl der an der Oberfläche vorhandenen freien Hydroxylgruppen reduziert wird. Kieselgel kann, beispielsweise in Pulverform, der Mischung grundsätzlich auch unbehandelt zugegeben werden. Damit kann jedoch nur ein maximaler Gehalt von 40-50 Gew.-% des Kieselgels in dem Beschichtungsmaterial erreicht werden.

Die Funktionalisierung des Kieselgels dient dazu, die Interaktion des Adsorptionsmaterials mit der Silan-Siloxanmatrix zu optimieren. Ein Adsorptionsmaterial mit zu hoher Hydroxylgruppendichte auf seiner Oberfläche führt zu einer sehr starken Interaktion mit der Silan-Siloxanmatrix, was zur Bildung einer heterogenen Verbundbeschichtung mit geringer Kohäsion aufgrund einer reduzierten Vernetzung der Silan-Siloxanmatrix führt. Umgekehrt kann mit einer Adsorptionsmaterialoberfläche mit zu wenigen reaktiven Hydroxylgruppen zwar eine optimale Vernetzung der Silan-Siloxanmatrix erreicht werden, dabei findet aber keine ausreichende Anbindung des Adsorptionsmaterials an die Silan-

Siloxanmatrix statt, so dass sich das Adsorptionsmaterial von dem Beschichtungsmaterial lösen kann, was die mechanische und chemisch-physikalische Effizienz des Beschichtungsmaterials selbst beeinträchtigen kann.

Wird das Kieselgel vor dem Hinzufügen zu der Mischung funktionalisiert, kann der Gehalt des Kieselgels in dem Beschichtungsmaterial auf bis zu 80 Gew.-% erhöht werden. Durch den hohen Gehalt an Adsorptionsmaterial können die Adsorptionseigenschaften des Beschichtungsmaterials verbessert werden.

Zur Funktionalisierung kann eine Behandlung des Kieselgels mit einer Tetraethyl-Orthosilikatlösung (50% in Wasser) für 2 bis 12 Stunden (vorzugsweise 4 Stunden) bei Raumtemperatur erfolgen. Am Ende des Prozesses wird das Kieselgel gefiltert und dann im Ofen für 24 Stunden getrocknet, um das funktionalisierte Kieselgelpulver zu erhalten.

Wird als Adsorptionsmaterial Zeolith verwendet, kann prinzipiell auch ohne Funktionalisierung ein Adsorptionsmaterial-Gehalt von bis zu 95 Gew.-% erreicht werden. Es kann auch eine Mischung aus Kieselgel und Zeolithen verwendet werden, um das Beschichtungsmaterial für entsprechende Anwendungen zu optimieren.

Unter den ebenfalls als Adsorptionsmaterial einsetzbaren MOFs werden die fachüblich bekannten mikroporösen Materialien verstanden, die aus anorganischen Baueinheiten und organischen Molekülen als Verbindungselementen zwischen den anorganischen Baueinheiten aufgebaut sind.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren das Hinzufügen eines thermisch leitenden Füllstoffs zu der Mischung. Dadurch kann die Wärmeleitfähigkeit des Beschichtungsmaterials erhöht werden. Dies führt wiederum zu einer verbesserten thermischen Effizienz des Wärmetauschers, selbst bei hohen Schichtdicken des Beschichtungsmaterials.

Hierbei ist es bevorzugt, dass der thermisch leitende Füllstoff Graphit, insbesondere Graphitpulver, Kohlenstoff-Nanoröhrchen, Graphen, Kupferpulver und/oder Aluminiumpulver enthält. Graphitpulver bietet die Vorteile geringen Gewichts und niedriger Kosten.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform enthält der Katalysator Bis(2-Ethylhexanoate)tin, Dibutyldilauryltin, Zink-Oktoat, Eisen-Oktoat und/oder Metallsalz.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst der Schritt des Hinzufügens des Adsorptionsmaterials zu der Mischung ein Rühren der Mischung für zwei Minuten oder mehr. Ferner ist es bevorzugt, dass der Schritt des Hinzufügens des Katalysators zu der Mischung ein Rühren der Mischung für zwei Minuten oder mehr umfasst. Damit kann sichergestellt werden, dass die Mischung homogen ist, was zu verbesserten Eigenschaften des Beschichtungsmaterials führt. Das Rühren kann manuell oder mit herkömmlichen mechanischen Mischvorrichtungen erfolgen.

In einer weiteren Ausführungsform beträgt der Anteil des Katalysators in der Mischung zwischen 0,1 und 6 Gew.-%, vorzugsweise zwischen 0,1 und 5 Gew.-%, weiter vorzugsweise zwischen 0,1 und 3 Gew.-%. Der Katalysator wird der Mischung beigegeben, um eine dehydrogenisierende Reaktion zwischen den matrixbildenden Komponenten und zwischen den matrixbildenden Komponenten und dem Adsorptionsmaterial zu begünstigen und so die Ausbildung einer porösen Beschichtung nach Auftrag zu begünstigen.

Es ist ferner bevorzugt, dass der Anteil des thermisch leitenden Füllstoffs in der Mischung weniger als 20 Gew.-%, vorzugsweise 7,5 Gew.-%, beträgt. Dadurch kann ein effektiver Beitrag zur Wärmeleitfähigkeit des Beschichtungsmaterials erreicht werden.

Die Aufgabe der Erfindung wird ferner gelöst durch ein Beschichtungsmaterial, das vorzugsweise nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellt ist, und das besteht aus:

- 2 bis 40 Gew.-% Hydroxyl-terminiertem Siloxan,
- weniger als 20 Gew.-% Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden, und/oder weniger als 10 Gew.-% Silan, das mindestens drei hydrolysierbare Gruppen aufweist,
- 10 bis 70 Gew.-% eines organischen Lösungsmittels,
- 5 bis 85 Gew.-% eines Adsorptionsmaterials,

- 0,1 bis 6 Gew.-%, vorzugsweise zwischen 0,1 und 5 Gew.-%, weiter vorzugsweise zwischen 0,1 und 3 Gew.-% eines Katalysators, und
- optional weniger als 20 Gew.-%, vorzugsweise 7,5 Gew.-% eines thermisch leitenden Füllstoffs,

wobei der Rest unvermeidbare Verunreinigungen sind.

Die angegebenen Gewichtsanteile des Beschichtungsmaterials beziehen sich auf die Zusammensetzung des Beschichtungsmaterials vor der Auftragung.

Das erfindungsgemäße Beschichtungsmaterial bietet zahlreiche Vorteile. Die Anwendung des Beschichtungsmaterials ist nicht auf spezielle Geometrien oder Materialien der zu beschichteten Vorrichtung limitiert und ist beispielsweise bei Vorrichtungen aus Stahl, Kupfer, Aluminium, Kunststoff oder Graphit anwendbar.

Mit dem Beschichtungsmaterial kann eine poröse und mechanisch flexible Beschichtung geschaffen werden. Für das Adsorptionsmaterial kann auf eine große Gruppe geeigneter Materialien zurückgegriffen werden, die je nach Verwendungszweck entsprechend optimal gewählt werden können.

Mit dem erfindungsgemäßen Beschichtungsmaterial können Beschichtungen in nahezu beliebiger Dicke realisiert werden, ohne die Adsorptionseigenschaften zu verschlechtern. Bei herkömmlichen Beschichtungsmaterialien ergeben sich aufgrund der begrenzten Diffusion von Wasserdampf in die innersten Bereiche der Beschichtung Grenzen hinsichtlich der Schichtdicke. Dies führt zu einer signifikanten Reduzierung des Wirkungsgrades des Wärmetauschers bei Erhöhung der Schichtdicke. Um diesen Nachteil zu überwinden, werden herkömmlicherweise kleine Schichtdicken gewählt. Allerdings erlauben hohe Dicken größere Mengen an Adsorptionsmaterial und damit eine größere Wärmepumpenleistung, sofern die Dampfdiffusion nicht behindert wird.

Die poröse Struktur des erfindungsgemäßen Beschichtungsmaterials ermöglicht es, Beschichtungen mit hoher Schichtdicke herzustellen, ohne die Diffusion von Wasserdampf im Inneren der Beschichtung selbst zu beeinträchtigen. Somit können mit dem erfindungsgemäßen Beschichtungsmaterial die Vorteile von hohen Schichtdicken hinsichtlich der Adsorptionseffizienz mit den Vorteilen von dünnen Schichtdicken in Bezug auf die Adsorptionskinetik kombiniert werden.

Das erfindungsgemäße Beschichtungsmaterial weist eine hohe mechanische Flexibilität auf, die die während eines Beschichtungsvorgangs erzeugten Zugspannungen absorbieren kann und somit die Klebeeigenschaften des Beschichtungsmaterials verbessert. So ist es auch möglich, die Stabilität einer Beschichtung mit dem erfindungsgemäßen Beschichtungsmaterial gegenüber thermomechanischen Spannungen, denen die Materialien an einem Wärmetauscher während des Lebenszyklus in Adsorptionswärmepumpen ausgesetzt sind, zu erhöhen. Darüber hinaus ermöglicht es die hohe Flexibilität des erfindungsgemäßen Beschichtungsmaterials im Vergleich zu herkömmlichen Materialien, die Schäden beim Transport, bei der Installation oder in mobilen Wärmepumpenmodulen zu reduzieren.

Insgesamt zeichnet sich das erfindungsgemäße Beschichtungsmaterial durch eine hohe Beständigkeit aus, sowohl in Bezug auf die mechanische Beständigkeit als auch im Hinblick auf die elektrochemische und hygrothermale Stabilität.

Wie obenstehend beschrieben, wird das Verhältnis von Hydrid zu Hydroxyl-funktionalisierten Siloxan-Verbindungen in der Mischung auf einen Wert zwischen 0 und 4 eingestellt, weiter bevorzugt auf einen Wert zwischen 1,5 und 2,5, um eine optimale Matrixbildung und Vernetzung mit dem Adsorptionsmaterial sicherzustellen.

Es kann bevorzugt sein, dass das Beschichtungsmaterial 2 bis 20 Gew.-%, weiter bevorzugt 2 bis 15 Gew.-% Hydroxyl-terminiertes Siloxan enthält. Es kann ferner bevorzugt sein, dass das Beschichtungsmaterial weniger als 15 Gew.-%, ferner bevorzugt weniger als 10 Gew.-% Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden, und oder weniger als 7 Gew.-% Silan, das mindestens drei hydrolysierbare Gruppen aufweist, enthält. Die Menge des Adsorptionsmaterials in dem Beschichtungsmaterial kann vorzugsweise in einem Bereich zwischen 10 Gew.-% und 60 Gew.-%, weiter bevorzugt zwischen 20 Gew.-% und 50 Gew.-%, noch weiter bevorzugt zwischen 25 Gew.-% und 40 Gew.-% liegen.

Das erfindungsgemäße Beschichtungsmaterial enthält 10 bis 70 Gew.-% eines organischen Lösungsmittels. Ein kleiner Lösungsmittelgehalt führt zu einer zu hohen Viskosität des Beschichtungsmaterials, was im Extremfall dazu führt, dass keine Tauchbeschichtung mehr möglich ist. Ein zu hoher Lösungsmittelgehalt hingegen führt zur Ausbildung einer porenfreien Beschichtung, was die

Adsorptionseigenschaften des Beschichtungsmaterials verschlechtert. Aus diesem Grund beträgt der Anteil des Lösungsmittels in dem Beschichtungsmaterial zwischen 10 und 70 Gew.-%, vorzugsweise zwischen 40 und 50 Gew.-%.

Der Anteil des Adsorptionsmaterials richtet sich nach der jeweiligen Anwendung. Wie obenstehend beschrieben, kann mit funktionalisiertem Kieselgel ein Adsorptionsmaterial-Gehalt von bis zu 80 Gew.-% erreicht werden. Adsorptionsmaterialien wie Aktivkohle oder Salzhydrate können ebenfalls einen Anteil von bis zu 80 Gew.-% in dem Beschichtungsmaterial erreichen.

Die Menge des Katalysators liegt zwischen 0,1 und 6 Gew.-%, vorzugsweise zwischen 0,1 und 5 Gew.-%, weiter vorzugsweise zwischen 0,1 und 3 Gew.-%, um sowohl eine ausreichende Topfzeit als auch gute Auftragungseigenschaften zu erreichen. Durch die verhältnismäßig geringe Dosierung des Katalysators können Topfzeiten von bis zu 10 Minuten erreicht werden, was eine deutliche Verbesserung gegenüber herkömmlichen vergleichbaren Beschichtungsmaterialien darstellt, deren Topfzeiten üblicherweise 2 Minuten oder weniger betragen.

Die Menge des Katalysators hat zudem Einfluss auf die Porosität der Beschichtung. Wie obenstehend beschrieben, löst der Katalysator eine dehydrogenisierende Reaktion zwischen den matrixbildenden Komponenten und zwischen den matrixbildenden Komponenten und dem Adsorptionsmaterial aus. Die dabei entstehenden Gase, vornehmlich Wasserstoff, sorgen für die Entstehung von Gasblasen in dem Beschichtungsmaterial, die die Struktur des Beschichtungsmaterials beeinflussen. Es entsteht eine schaumartige, poröse Struktur, deren Porosität durch die Menge des Katalysators beeinflusst werden kann.

Das erfindungsgemäße Beschichtungsmaterial weist ferner vorzugsweise die im Zusammenhang mit dem obenstehend beschriebenen Herstellungsverfahren genannten Stoffzusammensetzungseigenschaften auf, die im Folgenden nochmals wiedergegeben werden. Die sich daraus ergebenden Vorteile entsprechen jeweils den oben beschriebenen Vorteilen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist das Hydroxyl-terminierte Siloxan aus Silanol-terminierten Polydimethylsiloxanen, Copolymeren aus Silanol-terminiertem Diphenylsiloxan und Dimethylsiloxan, Silanol-terminiertem Polydiphenylsiloxan,

Silanol-terminiertem Methylphenylpolysiloxan, Silanol-terminiertem Polytrifluoropropylmethylsiloxan, Poly(Dimethylsiloxan), bis(hydroxyalkyl)-terminiertem Polydimethylsiloxan, Hydroxapropyl-terminiertem Polydimethylsiloxan, oder einer Mischung der genannten Stoffe hergestellt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden gebildet aus: Hydrid-terminierten Polydimethylsiloxanen; monodispersen, Hydrid-terminiertem Polydimethylsiloxan; Polymethylhydrosiloxanen, Trimethylsiloxy-terminiert; Methylhydrosiloxan-Dimethylsiloxan-Copolymeren, Trimethylsiloxy-terminiert; Methylhydrosiloxan-Dimethylsiloxan-Copolymeren, Hydrid-terminiert; Methylhydrosiloxan-Phenylmethylsiloxan-Copolymeren, Hydrid-terminiert; oder Copolymeren und/oder Terpolymeren aus Hydrid-terminiertem Methylhydrosiloxan und Octylmethylsiloxan; oder einer Mischung der genannten Stoffe.

Weiter vorzugsweise enthält das organische Lösungsmittel kein Wasser oder ist im wesentlichen wasserfrei. Das organische Lösungsmittel besteht vorzugsweise aus Ethanol, Aceton, Tetrahydrofuran (THF) oder Dimethylformamid (DMF), oder einer Mischung aus diesen, besonders bevorzugt aus einer Mischung aus Ethanol und Aceton.

Es ist weiterhin bevorzugt, dass das Adsorptionsmaterial Kieselgel, Aktivkohle, Salzhydrate, MOFs und/oder Zeolith enthält. Weiter vorzugsweise enthält das Adsorptionsmaterial Kieselgel, das vor dem Hinzufügen zu der Mischung funktionalisiert wird.

Es ist ferner bevorzugt, dass der thermisch leitende Füllstoff Graphit, insbesondere Graphitpulver, Kohlenstoff-Nanoröhrchen, Graphen, Kupferpulver und/oder Aluminiumpulver enthält.

Es ist weiter bevorzugt, dass der Katalysator Bis(2-Ethylhexanoate)tin, Dibutyldilaurylzin, Zink-Oktoat, Eisen-Oktoat und/oder Metallsalz enthält.

Im Rahmen der Erfindung wird ferner ein Verfahren zum Beschichten einer Vorrichtung angegeben, aufweisend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen eines gemäß dem obenstehend beschriebenen Verfahren hergestellten Beschichtungsmaterials bzw. eines oben beschriebenen Beschichtungsmaterials;
- Auftragen des Beschichtungsmaterials auf die Vorrichtung zur Ausbildung einer Beschichtung;
- Trocknen der Beschichtung; und
- Aushärten der Beschichtung.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Beschichten einer Vorrichtung ist schnell und günstig auch mit industriellen Beschichtungsverfahren durchführbar. Die Schichtdicke der Beschichtung ist nahezu frei wählbar und kann mittels des Auftragsverfahrens und der Viskosität des Beschichtungsmaterials auf einfache Weise eingestellt werden.

Das Auftragen des Beschichtungsmaterials kann vorzugsweise mittels Aufsprühen, Tauchbeschichten oder Übergießen erfolgen. Je nach Auftragsverfahren kann die Viskosität des Beschichtungsmaterials über die Konzentration des organischen Lösungsmittels in geeigneter Weise angepasst werden. Eine Tauchbeschichtung kann auch in mehreren aufeinanderfolgenden Tauchschritten erfolgen.

Vorzugsweise erfolgt das Trocknen der Beschichtung bei Raumtemperatur für eine Stunde oder länger. Durch den Trocknungsvorgang kann die Ausbildung von Defekten und Makroblasen beim Aushärten der Beschichtung vermieden werden. Beim Trocknungsvorgang dampfen ca. 30% des organischen Lösungsmittels aus.

Es ist ferner bevorzugt, dass das Aushärten der Beschichtung bei einer Temperatur zwischen 50 °C und 100°C, vorzugsweise bei 80 °C, für 24 Stunden oder länger erfolgt. Niedrigere Temperaturen bei der Aushärtung begünstigen kleine Blasen in der Beschichtung und poröse Beschichtungen mit hoher Dichte. Dabei entsteht eine geschlossene Zellstruktur. Höhere Temperaturen bei der Aushärtung begünstigen große Blasen und poröse Beschichtungen mit niedriger Dichte.

Nach dem Aushärten kann ein Nachhärtungsschritt bei einer Temperatur zwischen 60 °C und 150 °C für 3 bis 48 Stunden durchgeführt werden, vorzugsweise bei 90 °C für 3 Stunden unter Vakuum; oder bei Raumtemperatur für 2 Wochen.

Damit kann eine vollständige Ausgasung aller nicht reagierenden Verbindungen erreicht werden.

Vorzugsweise werden die Aushärtungsschritte – also das Aushärten der Beschichtung und/oder der Nachhärtungsschritt – bei einer Temperatur zwischen 40 °C und 110 °C durchgeführt. Dies verbessert die Ausbildung der Bindungen in der Silan-Siloxanmatrix und erlaubt eine schnellere Ausbildung der porösen Struktur.

Weiter vorzugsweise beträgt die Dicke der Beschichtung zwischen 0,05 mm und 2,0 mm. Bei diesen Schichtdicken kann eine optimale Wärmeübertragung und Wasserdampfdiffusion erzielt werden.

Im Rahmen der Erfindung wird ferner ein Wärmetauscher angegeben, mit einer Beschichtung aus einem gemäß dem obenstehenden Verfahren hergestellten Beschichtungsmaterial oder einem Beschichtungsmaterial wie obenstehend beschrieben, wobei die Beschichtung des Wärmetauschers vorzugsweise gemäß einem Verfahren zum Beschichten einer Vorrichtung wie oben beschrieben erfolgt. Der erfindungsgemäße Wärmetauscher zeichnet sich durch gute Adsorptionseigenschaften, hohe mechanische Stabilität, geringe Anfälligkeit für Korrosion und eine kostengünstige Herstellung aus.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass die im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens beschriebenen Merkmale und Vorteile der Mischung, aus der das Beschichtungsmaterial hergestellt wird, auch auf das erfindungsgemäße Beschichtungsmaterial zutreffen. Ebenso sind die beschriebenen Merkmale und Vorteile des Beschichtungsmaterials, insbesondere die Details zu dessen Zusammensetzung, auf das Verfahren zur Herstellung des Beschichtungsmaterials anwendbar.

Nachfolgend wird die Erfindung auch hinsichtlich weiterer Merkmale und Vorteile beschrieben, die anhand der Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigt:

Fig. 1 Adsorptionskurven eines erfindungsgemäßen Beschichtungsmaterials im Vergleich mit einem Referenz-Adsorptionsmaterial.

Zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Beschichtungsmaterials werden in einem ersten Schritt 2 bis 40 Gew.-% Hydroxyl-terminiertes Siloxan und weniger als 20 Gew.-% Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden, sowie weniger als 10 Gew.-% Silan, das mindestens drei hydrolysierbare Gruppen aufweist, miteinander gemischt. Die Gewichtsangaben beziehen sich hier und auch im Folgenden stets auf die Gesamtmasse des Endprodukts. Das Hydroxyl-terminierte Siloxan stellt ein Monomer dar, das zur Ausbildung einer siliziumhaltigen, porösen Matrix vorgesehen ist. Das hydrid-terminierte Siloxan und das mit hydrolysierbaren Gruppen versehene Silan dienen als Härtemittel bzw. Crosslinker für das Hydroxyl-terminierte Siloxan.

Um eine optimale Vernetzung der matrixbildenden Komponenten zu erreichen werden die Stoffmengen des Monomers und der Härtemittels so gewählt, dass das Verhältnis von Hydriden zu Hydroxal-funktionalisierten Siloxan-Verbindungen einen Wert zwischen 0 und 4 hat. Besonders bevorzugt ist ein Wert zwischen 1,5 und 2,5.

In einem weiteren Schritt werden zwischen 10 und 70 Gew.-%, vorzugsweise zwischen 40 und 50 Gew.-%, eines wasserfreien, organischen Lösungsmittels zu der Mischung gegeben. Die Mischung wird homogenisiert, beispielsweise mittels mechanischem Rühren. Aufgrund der Verwendung eines wasserfreien organischen Lösungsmittels ist die Homogenisierung der Mischung erleichtert.

Im Anschluss wird ein Adsorptionsmaterial zu der Mischung gegeben, sowie optional ein thermisch leitender Füllstoff. Die Mischung wird dann so lange gemischt, bis eine homogene Masse erreicht ist. Hierfür genügt in der Regel ein mechanischer Rührvorgang für zwei Minuten.

Abschließend wird ein Katalysator unter kräftigem Rühren für etwa ein bis zwei Minuten zu der Mischung gegeben. Das so hergestellte Beschichtungsmaterial kann dann abgefüllt oder direkt auf einen Wärmetauscher aufgetragen werden.

Die Auftragung des Beschichtungsmaterials auf einen Wärmetauscher kann mittels Aufsprühen, Tauchbeschichten, Übergießen oder einer anderen Methode

erfolgen. Nach der Auftragung in der gewünschten Dicke wird ein Trocknungsschritt bei Raumtemperatur durchgeführt. Hierbei dampfen etwa 30% des organischen Lösungsmittels aus. In der Regel genügt für den Trocknungsschritt etwa eine Stunde, um die gewünschte Lösungsmittelverdampfung zu erreichen.

Um die abschließende Aushärtung und Blasenbildung im Inneren der Beschichtung zu erreichen, wird ein Aushärtungsschritt bei niedriger Temperatur durchgeführt, im Bereich zwischen 50°C und 100°C, vorzugsweise 80°C, für 24 Stunden. Niedrige Aushärtetemperaturen begünstigen die Ausbildung kleiner Blasen und dementsprechend Beschichtungen mit kleinen Porendurchmessern und hoher Dichte. Hohe Aushärtetemperaturen begünstigen die Ausbildung großer Blasen und dementsprechend poröse Beschichtungen mit großen Porendurchmessern und niedriger Dichte.

Eine Nachhärtung im Temperaturbereich zwischen 60°C und 150°C kann für 6 bis 48 Stunden durchgeführt werden, um eine vollständige Ausgasung aller nicht reagierenden Verbindungen sicherzustellen. Alternativ, wenngleich weniger effektiv, kann für die Nachhärtung auch eine Lagerung bei Raumtemperatur für 2 Wochen als kostengünstige Alternative durchgeführt werden.

Fig. 1 zeigt gemessene Adsorptionskurven einer obenstehend beschriebenen, erfindungsgemäßen Beschichtung mit SAPO-34 als Adsorptionsmaterial im Vergleich mit der von reinem SAPO-34-Pulver. Es ist jeweils die Adsorptionskapazität in Gew.-% gegen die Temperatur aufgetragen. Als Adsorptiv diente Wasser bei einem Druck von 11 mbar. Die Beschichtung zeigt eine hervorragende Adsorptionsfähigkeit mit einer Adsorptionskurve, die der von reinem SAPO-34 sehr ähnlich ist. Die maximale Adsorptionskapazität in der Beschichtung beträgt 25,2 Gew.-%. Dieser Wert wird mit einer Beschichtung erzielt, die 80% Gew.-% SAPO-34 als Adsorptionsmaterial in dem Beschichtungsmaterial aufweist, und ist etwa 20% niedriger als die maximale Adsorptionskapazität von reinem SAPO-34-Pulver (31,7 Gew.-%). Dies belegt die hervorragenden Adsorptionseigenschaften, die mit dem erfindungsgemäßen Beschichtungsmaterial erzielt werden können.

Der im wesentlichen übereinstimmende Verlauf der Adsorptionskurven in Fig. 1 zeigt zudem, dass die Vernetzung der Silanol-Siloxanmatrix die

Adsorptionskapazität des Beschichtungsmaterials nicht wesentlich beeinflusst, sondern primär die Struktur in der Beschichtung stabilisiert, so dass bei Verwendung des Beschichtungsmaterials auf Wärmetauschern hohe Wirkungsgrade erreicht werden können. Diese Eigenschaften können auch mit den anderen, hier nicht gezeigten Adsorptionsmaterialien erzielt werden, was die hohe Flexibilität des Beschichtungsmaterials gemäß der vorliegenden Erfindung belegt.

Das erfindungsgemäße Beschichtungsmaterial ist in einem großen Temperaturbereich für einen breiten Anwendungsbereich geeignet und kann beispielsweise im Bereich der Entfeuchtung, Luftkonditionierung oder Adsorption von Wasserdampf eingesetzt werden. Das Adsorptionsmaterial kann je nach Anwendungsbereich in geeigneter Weise gewählt werden.

Darüber hinaus ist das Beschichtungsmaterial, obwohl es hydrophil gegenüber Wasserdampf ist, hydrophob gegenüber Wasser in der flüssigen Phase. Dank dieser Eigenschaften ist das erfindungsgemäße Beschichtungsmaterial optimal geeignet für Systeme, bei denen eine Wasserkondensation auftreten kann, da sowohl Korrosionsprobleme als auch Biofouling-Probleme unterbunden werden können.

## Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Beschichtungsmaterials, aufweisend die folgenden Schritte:
  - Herstellen einer Mischung aus
    - Hydroxyl-terminiertem Siloxan und
    - Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden und/oder Silan, das mindestens drei hydrolysierbare Gruppen aufweist;
  - Hinzufügen eines organischen Lösungsmittels zu der Mischung;
  - Homogenisieren der Mischung;
  - Hinzufügen eines Adsorptionsmaterials zu der Mischung; und
  - Hinzufügen eines Katalysators zu der Mischung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Hydroxyl-terminierte Siloxan aus Silanol-terminierten Polydimethylsiloxanen, Copolymeren aus Silanol-terminiertem Diphenylsiloxan und Dimethylsiloxan, Silanol-terminiertem Polydiphenylsiloxan, Silanol-terminiertem Methylphenylpolysiloxan, Silanol-terminiertem Polytrifluorpropylmethylsiloxan, Poly(Dimethylsiloxan), bis(hydroxyalkyl)-terminiertem Polydimethylsiloxan, Hydroxapropyl-terminiertem Polydimethylsiloxan, oder einer Mischung der genannten Stoffe hergestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden gebildet ist aus: Hydrid-terminierten Polydimethylsiloxanen; monodispersen, Hydrid-terminiertem Polydimethylsiloxan; Polymethylhydrosiloxanen, Trimethylsiloxy-terminiert; Methylhydrosiloxan-Dimethylsiloxan-Copolymeren, Trimethylsiloxy-terminiert; Methylhydrosiloxan-Dimethylsiloxan-Copolymeren, Hydrid-terminiert; Methylhydrosiloxan-Phenylmethylsiloxan-Copolymeren, Hydrid-terminiert; oder Copolymeren und/oder Terpolymeren aus Hydrid-terminiertem Methylhydrosiloxan und Octylmethylsiloxan; oder einer Mischung der genannten Stoffe.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verhältnis von Hydriden zu Hydroxyl-funktionalisierten Siloxan-Verbindungen in der Mischung einen Wert zwischen 0 und 4 hat.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das organische Lösungsmittel kein Wasser enthält oder im wesentlichen wasserfrei ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das organische Lösungsmittel aus Ethanol, Aceton, Tetrahydrofuran (THF) oder Dimethylformamid (DMF), oder einer Mischung aus diesen besteht, vorzugsweise aus einer Mischung aus Ethanol und Aceton.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Adsorptionsmaterial feste Sorbentien mit freien Hydroxyl-Gruppen, Kieselgel, Aktivkohle, Salzhydrate, MOFs (metal organic frameworks) und/oder Zeolith enthält.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Adsorptionsmaterial Kieselgel enthält, das vor dem Hinzufügen zu der Mischung funktionalisiert wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend das Hinzufügen eines thermisch leitenden Füllstoffs zu der Mischung.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der thermisch leitende Füllstoff Graphit, insbesondere Graphitpulver, Kohlenstoff-Nanoröhrchen, Graphen, Kupferpulver und/oder Aluminiumpulver enthält.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Katalysator Bis(2-Ethylhexanoate)tin, Dibutyldilauryltin, Zink-Oktoat, Eisen-Oktoat und/oder Metallsalz enthält.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt des Hinzufügens des Adsorptionsmaterials zu der Mischung ein Rühren der Mischung für zwei Minuten oder mehr umfasst.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt des Hinzufügens des Katalysators zu der Mischung ein Rühren der Mischung für zwei Minuten oder mehr umfasst.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Anteil des Katalysators in der Mischung zwischen 0,1 und 6 Gew.-%, vorzugsweise zwischen 0,1 und 5 Gew.-%, weiter vorzugsweise zwischen 0,1 und 3 Gew.-% beträgt.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei der Anteil des thermisch leitenden Füllstoffs in der Mischung weniger als 20 Gew.-%, vorzugsweise 7,5 Gew.-%, beträgt.
16. Beschichtungsmaterial, vorzugsweise hergestellt nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15, bestehend aus:
- 2 bis 40 Gew.-% Hydroxyl-terminiertem Siloxan,
  - weniger als 20 Gew.-% Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden, und/oder weniger als 10 Gew.-% Silan, das mindestens drei hydrolysierbare Gruppen aufweist,
  - 10 bis 70 Gew.-% eines organischen Lösungsmittels,
  - 5 bis 85 Gew.-% eines Adsorptionsmaterials,
  - 0,1 bis 6 Gew.-%, vorzugsweise zwischen 0,1 und 5 Gew.-%, weiter vorzugsweise zwischen 0,1 und 3 Gew.-% eines Katalysators, und
  - optional weniger als 20 Gew.-%, vorzugsweise 7,5 Gew.-% eines thermisch leitenden Füllstoffs,

wobei der Rest unvermeidbare Verunreinigungen sind.

17. Beschichtungsmaterial nach Anspruch 16, wobei das Hydroxyl-terminierte Siloxan aus Silanol-terminierten Polydimethylsiloxanen, Copolymeren aus Silanol-terminiertem Diphenylsiloxan und Dimethylsiloxan, Silanol-terminiertem Polydiphenylsiloxan, Silanol-terminiertem Methylphenylpolysiloxan, Silanol-terminiertem Polytrifluorpropylmethylsiloxan, Poly(Dimethylsiloxan), bis(hydroxyalkyl)-terminiertem Polydimethylsiloxan, Hydroxapropyl-terminiertem Polydimethylsiloxan, oder einer Mischung der genannten Stoffe hergestellt wird

18. Beschichtungsmaterial nach Anspruch 16 oder 17, wobei das Siloxan mit mindestens drei funktionalen Hydriden gebildet ist aus: Hydrid-terminierten Polydimethylsiloxanen; monodispersen, Hydrid-terminiertem Polydimethylsiloxan; Polymethylhydrosiloxanen, Trimethylsiloxy-terminiert; Methylhydrosiloxan-Dimethylsiloxan-Copolymeren, Trimethylsiloxy-terminiert; Methylhydrosiloxan-Dimethylsiloxan-Copolymeren, Hydrid-terminiert; Methylhydrosiloxan-Phenylmethylsiloxan-Copolymeren, Hydrid-terminiert; oder Copolymeren und/oder Terpolymeren aus Hydrid-terminiertem Methylhydrosiloxan und Octylmethylsiloxan; oder einer Mischung der genannten Stoffe.
19. Beschichtungsmaterial nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei das Verhältnis von Hydriden zu Hydroxyl-funktionalisierten Siloxan-Verbindungen in der Mischung einen Wert zwischen 0 und 4 hat.
20. Beschichtungsmaterial nach einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei das organische Lösungsmittel kein Wasser enthält oder im wesentlichen wasserfrei ist.
21. Beschichtungsmaterial nach einem der Ansprüche 16 bis 20, wobei das organische Lösungsmittel aus Ethanol, Aceton, Tetrahydrofuran (THF) oder Dimethylformamid (DMF), oder einer Mischung aus diesen besteht, vorzugsweise aus einer Mischung aus Ethanol und Aceton.
22. Beschichtungsmaterial nach einem der Ansprüche 16 bis 21, wobei das Adsorptionsmaterial Kieselgel, Aktivkohle, Salzhydrate, MOFs und/oder Zeolith enthält.
23. Beschichtungsmaterial nach einem der Ansprüche 16 bis 22, wobei das Adsorptionsmaterial Kieselgel enthält, das vor dem Hinzufügen zu der Mischung funktionalisiert wird.
24. Beschichtungsmaterial nach einem der Ansprüche 16 bis 23, wobei der thermisch leitende Füllstoff Graphit, insbesondere Graphitpulver, Kohlenstoff-Nanoröhrchen, Graphen, Kupferpulver und/oder Aluminiumpulver enthält.

25. Beschichtungsmaterial nach einem der Ansprüche 16 bis 24, wobei der Katalysator Bis(2-Ethylhexanoate)tin, Dibutyldilauryltin, Zink-Oktoat, Eisen-Oktoat und/oder Metallsalz enthält.
26. Verfahren zur Beschichtung einer Vorrichtung, insbesondere eines Wärmetauschers, aufweisend die folgenden Schritte:
- Bereitstellen eines gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15 hergestellten Beschichtungsmaterials oder eines Beschichtungsmaterials nach einem der Ansprüche 16 bis 25;
  - Auftragen des Beschichtungsmaterials auf die Vorrichtung zur Ausbildung einer Beschichtung;
  - Trocknen der Beschichtung; und
  - Aushärten der Beschichtung.
27. Verfahren nach Anspruch 26, wobei das Auftragen des Beschichtungsmaterials mittels Aufsprühen, Tauchbeschichten oder Übergießen erfolgt.
28. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27, wobei das Trocknen der Beschichtung bei Raumtemperatur für eine Stunde oder länger erfolgt.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 28, wobei das Aushärten der Beschichtung bei einer Temperatur zwischen 50 °C und 100°C, vorzugsweise bei 80 °C, für 24 Stunden oder länger erfolgt.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 29, wobei nach dem Aushärten ein Nachhärtungsschritt bei einer Temperatur zwischen 60 °C und 150 °C für 3 bis 48 Stunden durchgeführt wird, vorzugsweise bei 90 °C für 3 Stunden unter Vakuum; oder bei Raumtemperatur für 2 Wochen.
31. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 30, wobei die Aushärtungsschritte bei einer Temperatur zwischen 40 °C und 110 °C durchgeführt werden.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 31, wobei die Dicke der Beschichtung zwischen 0,05 mm und 2,0 mm beträgt.
33. Wärmetauscher mit einer Beschichtung aus einem gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15 hergestellten Beschichtungsmaterial oder einem Beschichtungsmaterial nach einem der Ansprüche 16 bis 25, wobei die Beschichtung des Wärmetauschers vorzugsweise gemäß einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 26 bis 32 erfolgt.

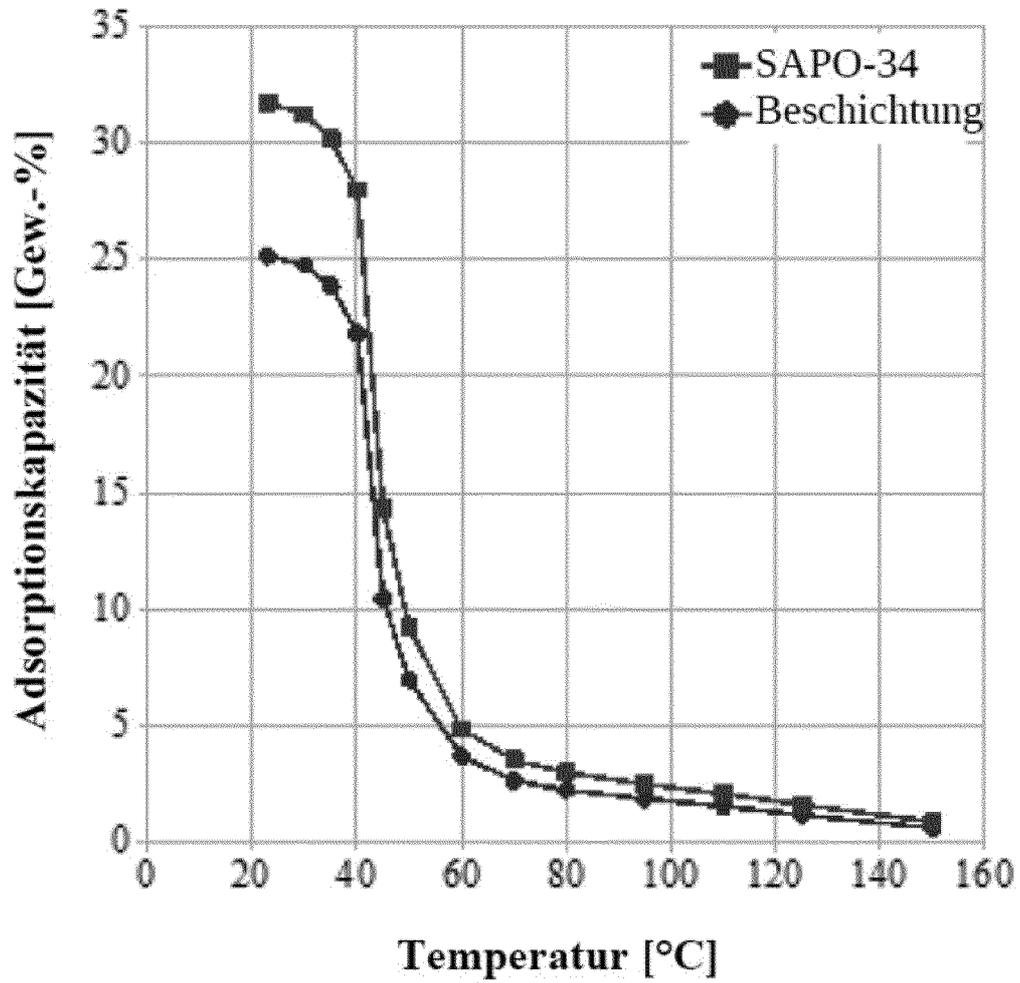


Fig. 1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/082820**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>C09D 183/04</i> (2006.01)i; <i>F25B 17/08</i> (2006.01)i; <i>F28F 13/18</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F25B; F28F; C08G; C09D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	L. CALABRESE ET AL. "Morphological and functional aspects of zeolite filled siloxane composite foams" <i>JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE</i> , US, Vol. 135, No. 2, 10 January 2018 (2018-01-10), page 45683 DOI: 10.1002/app.45683 ISSN: 0021-8995, XP055662173 Introduction Experimental - Foam Preparation; table 1	1-33
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>29 January 2020</b>		Date of mailing of the international search report <b>11 February 2020</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Stinchcombe, John</b>  Telephone No.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. C09D183/04 F25B17/08 F28F13/18 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) F25B F28F C08G C09D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	L. CALABRESE ET AL: "Morphological and functional aspects of zeolite filled siloxane composite foams", JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE, Bd. 135, Nr. 2, 10. Januar 2018 (2018-01-10), Seite 45683, XP055662173, US ISSN: 0021-8995, DOI: 10.1002/app.45683 INTRODUCTION EXPERIMENTAL - Foam Preparation; Tabelle 1  -----	1-33
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts	
29. Januar 2020	11/02/2020	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Stinchcombe, John	