

METALLSCHAUMKÖRPER UND VERFAHREN ZU IHRER HERSTELLUNG SOWIE DEREN VERWENDUNG ALS KATALYSATOR

Hintergrund und Stand der Technik

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung von Metallschaumkörpern, die nach diesen Verfahren herstellbaren Metallschaumkörper selbst, sowie die Verwendung dieser Metallschaumkörper als Katalysatoren für chemische Transformationen.

- Sogenannte Raney-Metall-Katalysatoren oder aktivierte poröse Metallkatalysatoren sind hoch
- 10 aktive in der Regel pulverförmige Katalysatoren, die eine breite kommerzielle Verwendung gefunden haben. Üblicherweise handelt es sich bei der Vorstufe zu Raney-Metall-Katalysatoren um Legierungen/intermetallische Phasen, die wenigstens ein katalytisch aktives Metall und wenigstens eine in Alkalien lösliche (auslaugbare) Legierungskomponente enthalten. Typische katalytisch aktive Metalle sind beispielsweise Ni, Co, Cu, mit Zusätzen von Fe, Cr, Pt, Ag, Au, Mo und Pd, und
- 15 typische auslaugbare Legierungskomponenten sind z. B. Al, Zn und Si. Die Herstellung des Raney-Metalls aus den Legierungen erfolgt in der Regel durch einen Aktivierungsprozess, in dem die auslaugbare Komponente durch die Anwendung von konzentrierter Natronlauge entfernt wird.

- Ein entscheidender Nachteil von pulverförmigen Raney-Metall-Katalysatoren ist die Notwendigkeit,
- 20 diese aus dem Reaktionsmedium der katalysierten Reaktion durch kostspielige Sedimentations- und/oder Filtrationsverfahren abzutrennen.

- Es wurden daher bereits mehrere Versuche unternommen, Raney-Metall-Katalysatoren zu immobilisieren und als Festbettkatalysatoren zur Verfügung zu stellen. So beschreibt EP 2 764 916
- 25 ein Verfahren zur Herstellung schaumförmiger Katalysatorformkörper, die sich für Hydrierungen eignen, bei dem man: a) einen Metallschaumformkörper bereitstellt, der wenigstens ein erstes Metall enthält, das beispielsweise ausgewählt ist unter Ni, Fe, Co, Cu, Cr, Pt, Ag, Au und Pd, b) auf die Oberfläche des Metallschaum-Formkörpers wenigstens eine zweite auslaugbare Komponente oder eine durch Legierung in eine auslaugbare Komponente überführbare Komponente aufträgt,
- 30 die beispielsweise ausgewählt ist unter Al, Zn und Si, und c) durch Legieren des in Schritt b) erhaltenen Metallschaumformkörpers zumindest auf einem Teil der Oberfläche eine Legierung bildet, und d) die in Schritt c) erhaltene schaumförmige Legierung einer Behandlung mit einem Agens unterzieht, das befähigt ist, die auslaugbaren Komponenten der Legierung auszulaugen.

- 35 Aus WO 2019057533A1 ist ein ähnliches Verfahren zur Herstellung von schaumförmigen Katalysatorformkörpern bekannt. Auch dort werden Metallpulver auf monolithische schaumförmige Metallkörper aufgetragen und anschließend thermisch behandelt, so dass Legierungen im Kontaktbereich von schaumförmigem Metallkörper und Metallpulver ausgebildet werden. WO2019057533A1 offenbart eine Vielzahl von Metallen und Metallkombinationen, die für den
- 40 schaumförmige Metallkörper und das Metallpulver gewählt werden können, dazu allgemeine

Angaben für die Durchführung der thermischen Behandlung zur Legierungsbildung sowie einige konkrete Beispiele zur Behandlung von Aluminiumpulver auf Nickelschaum.

Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung von Metallschaumkörpern, die das Bereitstellen eines Metallschaumkörpers, das anschließende Aufbringen aluminiumhaltigen Materials, sowie eine thermische Behandlung zur Legierungsbildung umfassen. Das Ausmaß der Legierungsbildung hängt dabei von den Bedingungen der thermischen Behandlung ab: Eine lange thermische Behandlung bei hohen Temperaturen führt z.B. zur Legierungsbildung in tieferen Bereichen des Metallschaums, während eine kürzere thermische Behandlung bei niedrigeren Temperaturen nur zur Legierungsbildung in den oberen Bereichen des Metallschaums führt und unlegierte Bereiche im Inneren des Metallschaums verbleiben. Da sich das Verbleiben unlegierter Bereiche im Inneren des Metallschaums positiv auf die mechanische Stabilität des Metallschaums auswirkt, besteht im Stand der Technik ein Bedürfnis nach Verfahren, die derartige Metallschäume zugänglich machen. Eine erfindungsgemäße Temperaturführung der thermischen Behandlung ermöglicht es, die Legierungsbildung auf die oberen Schichten des Metallschaums zu begrenzen, so dass unlegierte Bereiche in zentralen Regionen des Metallschaums verbleiben. Die erfindungsgemäßen Verfahren berücksichtigen dabei auch die Dicke der behandelten Metallschaumkörper.

20 Die vorliegende Erfindung

Erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Metallschaumkörpern umfassen die folgenden Schritte:

25 Bereitstellen eines Metallschaumkörpers A, der aus Nickel, Cobalt, Kupfer, oder deren Legierungen oder Kombinationen besteht,

Aufbringen eines aluminiumhaltigen Materials MP auf Metallschaumkörper A, so dass Metallschaumkörper AX erhalten wird,

30 thermische Behandlung von Metallschaumkörper AX, unter Sauerstoffausschluss, um Legierungsbildung zu erreichen zwischen den metallischen Anteilen von Metallschaumkörper A und dem aluminiumhaltigen Material MP, so dass Metallschaumkörper B erhalten wird,

35 wobei die Dauer H der thermischen Behandlung (in Minuten), in Abhängigkeit von der Temperatur T der thermischen Behandlung (in °C), wie folgt gewählt wird:

$$H_{\min} < H < H_{\max}, \text{ mit}$$

40 maximale Dauer $H_{\max} = d1 + (a1 - d1) / (1 + (T / c1)^{b1})$, und

$$\text{minimale Dauer } H_{\min} = d2 + (a2 - d2) / (1 + (T / c2)^{b2}),$$

wobei

5

$$a1 = 366,1;$$

$$b1 = 129,0;$$

$$c1 = 650,9;$$

$$d1 = 8,7;$$

10

$$a2 = 33,5;$$

$$b2 = 235,5;$$

$$c2 = 665,8;$$

$$d2 = 1,8;$$

15

und wobei die Temperatur T der thermischen Behandlung, abhängig von der Dicke D des Metallschaumkörpers AX, wie folgt gewählt wird:

für $0 \text{ mm} < D \leq 10 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 680 \text{ °C}$,

für $10 \text{ mm} < D \leq 20 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 675 \text{ °C}$,

20

für $20 \text{ mm} < D \leq 30 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 665 \text{ °C}$

für $30 \text{ mm} < D$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 660 \text{ °C}$.

Experimentelle Ergebnisse, die im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung erhoben wurden, zeigen, dass die Wahl der Bedingungen für die thermische Behandlung zur

25

Legierungsbildung erheblichen Einfluss auf das Ergebnis hat. Die erfindungsgemäßen Verfahren erlauben es, die Legierungsbildung auf die oberen Schichten des Metallschaums zu begrenzen, so dass unlegierte Bereiche in zentralen Regionen des Metallschaums verbleiben. Das Vorhandensein dieser unlegierten Bereiche wirkt sich unter anderem auf die chemische und mechanische Stabilität des erhaltenen Metallschaums aus.

30

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter Metallschaumkörper A ein schaumförmiger Metallkörper verstanden. Schaumförmige Metallkörper werden z.B. offenbart in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Kapitel „Metallic Foams“, veröffentlicht online am 15.07.2012, DOI: 10.1002/14356007.c16_c01.pub2. Geeignet sind prinzipiell Metallschäume mit verschiedenen morphologischen Eigenschaften bezüglich Porengröße und -form, Schichtdicke, Flächendichte, geometrische Oberfläche, Porosität, etc.. Bevorzugt weist der Metallschaum eine Rohdichte im Bereich von 100 bis 1500 kg/m³, bevorzugter von 200 bis 1200 kg/m³ und am meisten bevorzugt von 300 bis 600 kg/m³ auf. Die mittlere Porengröße beträgt vorzugsweise von 400 bis 3000 µm, bevorzugter von 400 bis 800 µm. Bevorzugte Metallschäume weisen eine spezifische BET-Oberfläche von 100 bis 20.000 m²/m³, bevorzugter 1.000 bis 6.000 m²/m³ auf. Die Porosität liegt vorzugsweise in einem Bereich von 0,50 bis 0,95.

40

- Die Rohdichte des Metallschaums wird nach ISO 845 bestimmt. Die mittlere Porengröße wird durch das Analyseverfahren Visiocell® von Recticel bestimmt, das in "The Guide 2000 of Technical Foams", Buch 4, Teil 4, Seiten 33-41, beschrieben ist. Insbesondere wird die Porengröße durch eine optische Messung des Porendurchmessers durch Überlagerung kalibrierter Ringe, gedruckt auf transparentem Papier, an der ausgewählten Zelle gemessen. Diese Porengrößenmessung wird für mindestens 100 unterschiedliche Zellen durchgeführt, um einen mittlere Zellendurchmesser zu erhalten. Die spezifische BET-Oberfläche wird durch Gasadsorption an einer Metallschaumprobe bis max. 2 g nach DIN 9277 gemessen. Die Porosität wird mittels folgender Gleichung bestimmt:

$$Porosität (\%) = \frac{V_T - W \cdot \frac{1000}{\rho}}{V_T} \cdot 100$$

- 10 V_T = Volumen der Metallschaumprobe in mm³
 W = Gewicht der Metallschaumprobe in g
 ρ = Dichte des Metalls in g/cm³ (z.B. 8,9 g/cm³ für Ni)

- Die Herstellung kann in an sich bekannter Weise erfolgen. Beispielsweise kann ein Schaum aus einem organischen Polymer nacheinander oder gleichzeitig mit zwei Metallkomponenten beschichtet werden und dann das Polymer durch Thermolyse entfernt werden, wobei ein Metallschaum erhalten wird. Zum Beschichten mit wenigstens einem ersten Metall oder einem Vorläufer davon kann der Schaum aus dem organischen Polymer mit einer Lösung oder Suspension, die das erste Metall enthält, in Kontakt gebracht werden. Dies kann z. B. durch Sprühen oder Tauchen erfolgen. Möglich ist auch eine Abscheidung mittels chemical vapor deposition (CVD). So kann z. B. ein Polyurethanschaum nacheinander mit einem oder mit zwei Metallen beschichtet und dann der Polyurethanschaum thermolysiert werden. Ein zur Herstellung von Formkörpern in Form eines Schaums geeigneter Polymerschaum hat vorzugsweise eine Porengröße im Bereich von 100 bis 5000 µm, besonders bevorzugt von 450 bis 4000 µm und insbesondere von 450 bis 3000 µm. Ein geeigneter Polymerschaum hat vorzugsweise eine Schichtdicke von 5 bis 60 mm, besonders bevorzugt von 10 bis 30 mm. Ein geeigneter Polymerschaum hat vorzugsweise ein Raumgewicht von 300 bis 1200 kg/m³. Die spezifische Oberfläche liegt vorzugsweise in einem Bereich von 100 bis 20000 m²/m³, besonders bevorzugt 1000 bis 6000 m²/m³. Die Porosität liegt vorzugsweise in einem Bereich von 0,50 bis 0,95.

- 30 Die in Schritt (a) des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendeten Metallschaumkörper A können jede beliebige Form aufweisen, z.B. kubisch, quaderförmig, zylindrisch etc. aber auch komplexere Geometrien.
- 35 Das aluminiumhaltige Material MP, das in Schritt (b) auf den Metallschaumkörper aufgebracht wird, enthält metallisches Al in einer Menge von 80 bis 100 Gew%, bevorzugt von 80 bis 99,8 Gew%, und besonders von 90 bis 99,5 Gew%, bezogen auf das aluminiumhaltige Material MP. Hochreines

Aluminium ist leicht entzündlich und sollte unter Schutzgasatmosphäre gehandhabt werden. Neben metallischem Aluminium (Al) kann das Material noch Aluminium Al(III) enthalten. Dieser Al(III)-Anteil liegt typischerweise in Form von oxidischen Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe von Aluminiumoxiden, -hydroxiden und/oder -carbonaten, vor. Besonders bevorzugt liegt der Al(III)-Anteil im Bereich von 0,05 bis < 10 Gew%, ganz besonders bevorzugt im Bereich von 0,1 bis 8 Gew% bezogen auf das aluminiumhaltige Material MP. Neben Al und Al(III) kann die Mischung auch noch organische Verbindungen und/oder ein weiteres Metall oder Metalloxid oder Metallcarbonat enthalten, wobei die weiteren Metalle vorzugsweise ausgewählt sind aus der Gruppe der Promotorelemente, wie etwa Ti, Ta, Zr, V, Cr, Mo, W, Mn, Rh, Fe, Ru, Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Ce und Bi. Die organischen Verbindungen sind vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe von Kohlenwasserstoffen, Polymeren, Harzen, Wachsen, Aminen und Alkoholen.

Das aluminiumhaltige Material MP, das in Schritt (b) auf den Metallschaumkörper aufgebracht wird, ist vorzugsweise ein aluminiumhaltiges Pulver. In bevorzugten Ausführungsformen enthält das aluminiumhaltige Pulver 1 bis 5 Gew%, besonders bevorzugt 2 bis 4 Gew% und am meisten bevorzugt etwa 3 Gew% organische Verbindungen, insbesondere ein Wachs, und 94,5 bis 98,8 Gew% , besonders bevorzugt 95,5 bis 97,8 Gew% und am meisten bevorzugt 96,5 bis 96,8 Gew% Al. Die Teilchen des aluminiumhaltigen Pulvers haben vorzugsweise einen Durchmesser von nicht kleiner als 5 µm und nicht größer als 200 µm. Besonders bevorzugt sind Pulver, bei denen 95 % der Teilchen einen Durchmesser von 5 bis 75 µm aufweisen.

Das aluminiumhaltige Pulver wird üblicherweise mithilfe eines organischen Bindemittels auf der Oberfläche des Metallschaumkörpers fixiert. In einer Ausführungsform wird der Metallschaumkörper vor dem eigentlichen Aufbringen des aluminiumhaltigen Pulvers mit dem organischen Bindemittel imprägniert. Das Imprägnieren kann beispielweise durch Aufsprühen des Bindemittels, Eintauchen des Metallschaumkörpers in das Bindemittel, Durchpumpen oder Durchsaugen erfolgen, ist aber nicht auf diese Möglichkeiten beschränkt. Üblicherweise wird das Bindemittel in einer Menge eingesetzt, so dass die Schichtdicke auf dem Metallschaumkörper 10 bis 60 µm, vorzugsweise 10 bis 30 µm beträgt. Auf den so vorbereiteten Metallschaumkörper kann anschließend das aluminiumhaltige Pulver aufgebracht werden.

Alternativ dazu können das organische Bindemittel und das aluminiumhaltige Pulver in einem Schritt aufgebracht werden. Hierfür wird das aluminiumhaltige Pulver vor dem Aufbringen entweder in flüssigem Bindemittel selbst suspendiert, oder das aluminiumhaltige Pulver und das Bindemittel werden in einer Hilfsflüssigkeit suspendiert bzw. gelöst.

Das Aufbringen des aluminiumhaltigen Pulvers in Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens kann in vielfältiger Weise erfolgen, z. B. indem man den Metallschaumkörper mit dem aluminiumhaltigen Pulver durch Rollen oder Tauchen in Kontakt bringt, oder das aluminiumhaltige Pulver durch Sprühen, Bestreuen oder Gießen aufträgt. Dazu kann das aluminiumhaltige Pulver

als reines Pulver vorliegen, oder es ist in dem Bindemittel und/oder einer Hilfsflüssigkeit suspendiert. Falls eine Hilfsflüssigkeit eingesetzt wird, ist diese vorzugsweise Wasser.

- Das Bindemittel ist eine organische Verbindung, die ein Anhaften des aluminiumhaltigen Pulvers auf dem Metallkörper begünstigt. Bevorzugt ist das Bindemittel dabei ausgewählt aus Polyvinylpyrrolidon (PVP), Ethylenglykol, Wachsen, Polyethylenimin (PEI) und Gemischen dieser Verbindungen. Besonders bevorzugt sind PVP oder PEI als Bindemittel, etwa mit $M_w = 10.000$ bis $1.300.000$ g/mol, bestimmt mit Gelpermeationschromatografie unter Verwendung von Polystyrolstandards. Vorzugsweise wird PEI als Bindemittel, z.B. mit $M_w = 500.000$ bis $1.000.000$ g/mol oder $M_w = 600.000$ bis 900.000 g/mol verwendet. Typischerweise wird das PEI in wässriger Lösung eingesetzt, bevorzugt in Konzentrationen von 0,5 bis 15 Gew%, bevorzugter 1 bis 10 Gew% oder 2 bis 5 Gew% und am meisten bevorzugt 2 bis 3 Gew%, bezogen auf das Gewicht von PEI und Wasser. Das aluminiumhaltige Pulver kann in dem Bindemittel, gegebenenfalls gelöst in einer Hilfsflüssigkeit, wie etwa Wasser, z.B. in der wässrigen PEI-Lösung suspendiert werden, und die Menge des aluminiumhaltigen Pulvers in der Suspension beträgt vorzugsweise 30 bis 70 Gew%, besonders bevorzugt 40 bis 60 Gew%, am meisten bevorzugt 45 bis 55 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Suspension.

- Alternative Aufbringungsmethoden des aluminiumhaltigen Materials MP in Schritt (b) umfassen z.B. das Eintauchen des Metallschaumkörpers in eine Metallschmelze, Aufspütern oder chemische Gasphasenabscheidung des aluminiumhaltigen Materials MP, und Abscheiden des aluminiumhaltigen Materials MP als Metallsalze und anschließende Reduktion zu Metall. Es sind auch Kombinationen aller genannten Aufbringungsmethoden möglich.

- In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das aluminiumhaltige Material MP ein aluminiumhaltiges Pulver und ein organisches Bindemittel wird zusammen mit oder vor dem aluminiumhaltigen Pulver auf Metallschaumkörper A aufgebracht.

- Die beschichteten Metallschaumkörper sind weich und lassen sich daher bei Bedarf leicht verformen. Beispielsweise können die beschichteten Metallschaumkörper auf der Oberfläche geprägt werden, etwa mit einem Wellenprofil. Die Prägung kann mit einem üblichen Werkzeug, etwa einer profilierten Rolle, einem Stempel oder einem sonstigen Prägewerkzeug durchgeführt werden. Ferner können die beschichteten Metallschaumkörper, gegebenenfalls nach vorausgehender Prägung, gefaltet oder aufgerollt werden. Ein abgewandelter Metallschaumkörper kann auch erhalten werden, indem mehrere Metallschaumkörper, gegebenenfalls nach vorausgehender Prägung, übereinandergestapelt werden, wobei der Körper nur aus beschichteten Metallschaumkörpern bestehen kann oder jeweils ein unbeschichteter Metallschaumkörper zwischen zwei beschichteten angeordnet wird. Aufgerollte, gefaltete oder gestapelte Metallschaumkörper werden hierin auch als mehrlagig bezeichnet und können durch verschiedene Formgebungsverfahren gegebenenfalls weiter verformt werden. Durch die Verformung, Umformung und/oder Stapelung der beschichteten Metallschaumkörper kann ein

Metallschaumformkörper AX mit einer gewünschten Geometrie, je nach geplantem Einsatzbereich, hergestellt werden.

- 5 In Schritt (c) des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt eine thermische Behandlung, um das Ausbilden einer oder mehrerer Legierungen zu erreichen. Experimentelle Ergebnisse, die im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung erhoben wurden, zeigen, dass eine relativ strikte Temperaturkontrolle notwendig ist, um die Legierungsbildung auf die oberen Bereiche des Metallschaums zu beschränken und unlegierte Bereiche im Inneren des Metallschaums zu belassen. Außerdem muss bei der Auswahl der Bedingungen für die thermische Behandlung die
- 10 Dicke D des Metallschaumkörpers AX beachtet werden. Die thermische Behandlung von Metallschaumkörper AX in Schritt (c) des erfindungsgemäßen Verfahrens muss unter Sauerstoffausschluss durchgeführt werden.

- Die Dauer H der thermischen Behandlung (in Minuten) wird in Abhängigkeit von der Temperatur T
- 15 der thermischen Behandlung (in °C) wie folgt gewählt:

$H_{\min} < H < H_{\max}$, mit

- maximale Dauer $H_{\max} = d1 + (a1 - d1) / (1 + (T / c1)^{b1})$, und
- 20

minimale Dauer $H_{\min} = d2 + (a2 - d2) / (1 + (T / c2)^{b2})$,

wobei

- 25 $a1 = 366,1$;
 $b1 = 129,0$;
 $c1 = 650,9$;
 $d1 = 8,7$;

- 30 $a2 = 33,5$;
 $b2 = 235,5$;
 $c2 = 665,8$;
 $d2 = 1,8$;

- und wobei die Temperatur T der thermischen Behandlung, abhängig von der Dicke D des Metallschaumkörpers AX, wie folgt gewählt wird:
- 35

- für $0 \text{ mm} < D \leq 10 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 680 \text{ °C}$,
für $10 \text{ mm} < D \leq 20 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 675 \text{ °C}$,
für $20 \text{ mm} < D \leq 30 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 665 \text{ °C}$
40 für $30 \text{ mm} < D$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 660 \text{ °C}$.

Die Dicke D des Metallschaumkörpers AX wird dabei wie folgt bestimmt:

- Bei Metallschaumkörpern mit simpler Geometrie, z.B. bei quaderförmigen Ausschnitten aus Metallschaummatten, bezeichnet D die Länge der kürzesten Kante derartiger Ausschnitte, d.h. in vielen Fällen einfach die Dicke der Metallschaummatte. Bei Objekten mit komplizierterer Geometrie wird D mit einer groben Abschätzung ermittelt, bei der, im Zweifelsfall, eher ein zu hoher Wert für D angenommen werden sollte als ein zu niedriger. Der Wert von D wird hier geschätzt als der doppelte Wert des geringsten Abstands zur Oberfläche, von dem Punkt innerhalb des Körpers, dessen geringster Abstand zur Oberfläche maximal ist. In jedem Fall sollten bei der Bestimmung von D die Schaumporen und ihre Oberflächen außer Acht gelassen werden, d.h. die Schaumporen sollten für diese Bestimmung als ausgefüllt betrachtet werden. Außerdem sollten Aussparungen der betrachteten Körper mit Durchmessern unterhalb von 1 cm nicht als Oberfläche, sondern ebenfalls als gefüllte Bereiche betrachtet werden.

- Die thermische Behandlung umfasst das, üblicherweise stufenweise, Aufheizen des Metallschaumkörpers AX und das anschließende Abkühlen auf Raumtemperatur. Die thermische Behandlung findet unter Inertgas oder unter reduktiven Bedingungen statt. Unter reduktiven Bedingungen ist die Gegenwart eines Gasgemisches, das Wasserstoff und wenigstens ein unter den Reaktionsbedingungen inertes Gas enthält zu verstehen, geeignet ist z. B. ein Gasgemisch, das 50 Vol% N₂ und 50 Vol% H₂ enthält. Als inertes Gas wird vorzugsweise Stickstoff eingesetzt. Das Aufheizen kann z. B. in einem Bandofen erfolgen. Geeignete Aufheizraten liegen im Bereich von 10 bis 200 K/min, bevorzugt 20 bis 180 K/min. Während der thermischen Behandlung wird typischerweise zunächst die Temperatur von Raumtemperatur auf etwa 300 bis maximal 350 °C erhöht und bei dieser Temperatur für einen Zeitraum von etwa 2 bis 30 Minuten gehalten, um Feuchtigkeit und organische Bestandteile aus der Beschichtung zu entfernen. In diesem Abschnitt der thermischen Behandlung findet keine Legierungsbildung statt.

Anschließend wird die Temperatur in den Bereich oberhalb von 600 °C erhöht, und es erfolgt Legierungsbildung zwischen den metallischen Anteilen von Metallschaumkörper A und dem aluminiumhaltigen Material MP, so dass Metallschaumkörper B erhalten wird.

- Um die Legierungsbildung auf die oberen Bereiche des Metallschaums zu beschränken, und unlegierte Bereiche im Inneren des Metallschaums zu belassen, ist es notwendig, die Dauer H der thermischen Behandlung in Abhängigkeit von der Temperatur T der thermischen Behandlung geeignet zu wählen. Erfindungsgemäß wird die Dauer H der thermischen Behandlung (in Minuten) in Abhängigkeit von der Temperatur T der thermischen Behandlung (in °C) wie folgt gewählt:

$$H_{\min} < H < H_{\max}, \text{ mit}$$

$$\text{maximale Dauer } H_{\max} = d_1 + (a_1 - d_1) / (1 + (T / c_1)^{b_1}), \text{ und}$$

$$\text{minimale Dauer } H_{\min} = d_2 + (a_2 - d_2) / (1 + (T / c_2)^{b_2}),$$

wobei

$a_1 = 366,1;$

$b_1 = 129,0;$

5 $c_1 = 650,9;$

$d_1 = 8,7;$

$a_2 = 33,5;$

$b_2 = 235,5;$

10 $c_2 = 665,8;$

$d_2 = 1,8;$

und wobei die Temperatur T der thermischen Behandlung, abhängig von der Dicke D des Metallschaumkörpers AX, wie folgt gewählt wird:

15

für $0 \text{ mm} < D \leq 10 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 680 \text{ }^\circ\text{C}$,

für $10 \text{ mm} < D \leq 20 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 675 \text{ }^\circ\text{C}$,

für $20 \text{ mm} < D \leq 30 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 665 \text{ }^\circ\text{C}$

für $30 \text{ mm} < D$ gilt $600 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 660 \text{ }^\circ\text{C}$.

20

Im Anschluss an die Legierungsbildung wird der Metallschaumkörper unter Sauerstoffausschluss abgekühlt. Das Abkühlen kann einfach erfolgen, indem die thermische Behandlung abgebrochen wird, etwa der Metallschaumkörper aus der erwärmten Umgebung, z.B. dem Ofen, unter Sauerstoffausschluss entnommen wird und sich langsam auf Umgebungstemperatur abkühlt.

25

Vorzugsweise jedoch wird der Katalysatorformkörper möglichst rasch auf eine Temperatur unterhalb von 200°C gebracht, um die auslaugungsfähigen intermetallischen Phasen "einzufrieren". Dies kann durch ein geeignetes Kühlmedium erfolgen, vorzugsweise wird die Abkühlung in einer Kühlzone des Ofens, etwa des Bandofens, erreicht. Diese kann z.B. von einem Kühlwassermantel umgeben sein. Die bevorzugte Kühlrate beträgt 5 bis 500 K/min, besonders bevorzugt 20 bis 400 K/min und am meisten bevorzugt 30 bis 200 K/min.

30

Während der thermischen Behandlung und des Abkühlens muss der Formkörper in einer sauerstofffreien Umgebung gehalten werden. "Unter Sauerstoffabschluss" oder "sauerstofffreie Umgebung" bedeutet hierin in einer Inertgasatmosphäre oder unter einer reduzierenden Atmosphäre. Als Inertgas wird dabei vorzugsweise Stickstoff eingesetzt. Als reduzierende

35

Atmosphären sind beispielsweise Mischungen von Inertgas mit Wasserstoff geeignet, etwa N_2/H_2 , bevorzugt im Volumenverhältnis 50/50. Vorzugsweise wird der Formkörper unter einem Stickstoffstrom erwärmt und abgekühlt, typischerweise mit einer Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von 5 bis 30 m^3/h , besonders bevorzugt 10 bis 30 m^3/h .

40

Eine zu hohe Temperatur T und /oder eine zu lange Dauer H , führen dazu, dass die Legierungsbildung bis in die tiefsten Schichten des Metallschaums fortschreitet und keine

unlegierten Bereiche verbleiben. Eine zu niedrige Temperatur T und /oder eine zu kurze Dauer H, führen dazu, dass die Legierungsbildung gar nicht beginnt.

Werden während der Legierungsbildung Zeitintervalle mit verschiedenen Temperaturen T im
5 erfindungsgemäßen Bereich gewählt, kann zur Bestimmung von $H_{\min}$ und $H_{\max}$ für die Temperatur T der thermischen Behandlung ein nach Dauer dieser Zeitintervalle gewichteter Mittelwert eingesetzt werden.

Liegen zwei metallische Komponente in Metallschaumkörper A vor, so liegt in einer bevorzugten
10 Ausführungsform das Massenverhältnis der beiden metallischen Komponenten in Metallschaumkörper A im Bereich von 1:1 bis 20:1, besonders bevorzugt im Bereich von 1:1 bis 10:1.

In einer bevorzugten Ausführungsform besteht Metallschaumkörper A aus metallischem Nickel.
15

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform liegt das Verhältnis V der Massen von Metallschaumkörper B zu Metallschaumkörper A, $V = m(\text{Metallschaumkörper B}) / m(\text{Metallschaumkörper A})$ im Bereich von 1.1:1 bis 1.5:1, besonders bevorzugt im Bereich von 1.2:1 bis 1.4:1.

20 In einem weiteren Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung ferner Verfahren mit dem folgenden Schritt (d): Aktivieren des Metallschaumkörpers B durch Behandlung mit einem Auslaugungsmittel. Die Behandlung des Metallschaumkörpers B mit einem Auslaugungsmittel dient dazu Metallkomponenten der aufgetragenen Zusammensetzung des aluminiumhaltigen Materials MP
25 sowie Legierungen zwischen metallischen Anteilen von Metallschaumkörper und der Zusammensetzung des aluminiumhaltigen Materials MP zumindest teilweise aufzulösen und auf diese Weise aus dem Metallschaumkörper zu entfernen. Der Aluminiumgehalt im Metallschaumkörper hat Einfluss auf katalytische Leistung und Lebensdauer, insbesondere auf die Hydrieraktivität und auf die chemische Stabilität im Reaktionsmedium. Typischerweise werden 30
30 bis 70 Gew%, bevorzugt 40 bis 60 Gew% des Aluminiums, bezogen auf das ursprüngliche Gesamtgewicht von Aluminium in dem Metallschaumkörper, herausgelöst. Es gilt, dass die Hydrieraktivität des erfindungsgemäßen Metallschaumkörpers umso höher ist, je geringer der Restaluminiumgehalt ist. Bevorzugt werden Restaluminiumgehalte von 2 bis 20 Gew%, besonders bevorzugt von 5 bis 15 Gew%, ganz besonders bevorzugt von 2 bis 17 Gew%, und am meisten
35 bevorzugt von 3 bis 12 Gew%, bezogen auf die Gesamtmasse des Metallschaumkörpers, eingestellt.

Als Auslaugungsmittel ist jedes Mittel geeignet, das Aluminium selektiv aus den intermetallischen Phasen herauslöst; es kann alkalisch oder sauer sein oder komplexbildend wirken. Vorzugsweise
40 ist das Auslaugungsmittel eine wässrige Lösung einer Base, wie etwa eines Hydroxids, bevorzugt

Alkalihydroxid, besonders bevorzugt NaOH, KOH und/oder LiOH bzw. Gemischen davon, ganz bevorzugt NaOH.

5 In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Behandlung des Metallschaumkörpers B mit einer basischen Lösung für eine Dauer im Bereich von 5 Minuten bis 8 Stunden, bei einer Temperatur im Bereich von 20 bis 120 °C, bevorzugt bei 60 bis 115°C, und besonders bevorzugt 80 bis 110°C ausgeführt, wobei die basische Lösung eine wässrige NaOH-Lösung mit einer NaOH-Konzentration zwischen 2 und 30 Gew% ist. Vorzugsweise beträgt die Laugungszeit, d.h. die Behandlungszeit in Schritt (f) mit dem Auslaugungsmittel, wie etwa wässriger NaOH-Lösung, 15 bis 10 90 min.

Die Aktivierung in Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens kann beispielsweise in Sumpf- oder Rieselfahrweise durchgeführt werden. Nach der Behandlung mit dem Auslaugungsmittel wird der Katalysatorformkörper vorzugsweise mit einem Waschmedium gewaschen, das ausgewählt ist 15 aus Wasser, C₁-C₄-Alkanolen und Mischungen davon. Geeignete C₁-C₄-Alkanole sind Methanol, Ethanol, n-Propanol, Isopropanol, n-Butanol und Isobutanol.

Bei geeigneter Wahl der metallischen Komponenten können Metallschaumkörper, die als Ergebnis der Behandlung mit basischer Lösung erhalten werden, als Katalysatoren eingesetzt werden, wie 20 z.B. offenbart in der WO2019057533A1.

Der aktivierte Metallschaumkörper kann in einigen Ausführungsformen in Schritt (e) durch eine Nachdotierung mit weiteren Metallen modifiziert werden, wobei diese Dotierungselemente, auch als Promotorelemente bezeichnet, bevorzugt aus den Übergangsmetallen ausgewählt sind. Zur 25 Nachdotierung wird der Metallschaumkörper mit einer bevorzugt wässrigen Lösung des aufzubringenden Dotierungselements oder der aufzubringenden Dotierungselemente behandelt. Die Dotierlösung hat typischerweise einen pH-Wert ≥ 7 , um den Metallschaumkörper nicht zu schädigen. Der Lösung des aufzubringenden Dotierungselementes oder der aufzubringenden Dotierungselemente kann eine chemisch reduktiv wirkende Komponente zugegeben werden, um 30 das gelöste Dotierungselement bzw. die gelösten Dotierungselemente auf dem Metallschaumkörper reduktiv abzuscheiden. Bevorzugte Dotierungselemente zur Modifizierung sind ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Mo, Pt, Pd, Rh, Ru, Cu und Mischungen davon. Geeignete Verfahren zur Dotierung sind etwa in WO 2019/057533 auf Seite 20 bis 25 beschrieben. Der in Schritt (d) aktivierte und gegebenenfalls in Schritt (e) nachdotierte Metallschaumkörper kann 35 entweder unmittelbar als Katalysator eingesetzt werden oder gelagert werden. Um Oxidationsprozesse an der Oberfläche und eine damit eingeschränkte katalytische Wirksamkeit zu verhindern, wird der Metallschaumkörper nach der Aktivierung vorzugsweise unter Wasser gelagert.

40 In einem weiteren Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung ferner beschichtete Metallschaumkörper erhältlich nach einem der erfindungsgemäßen Verfahren.

- Aktiviert und gegebenenfalls dotierte Metallschaumkörper erhältlich nach einem der erfindungsgemäßen Verfahren können als Katalysatoren für zahlreiche katalysierte chemische Reaktionen von insbesondere organischen Verbindungen verwendet werden, wie z.B. Hydrierung, Isomerisierung, Hydratisierung, Hydrogenolyse, reduktive Aminierung, reduktive Alkylierung, Dehydrierung, Oxidation, Dehydrierung und Umlagerung, bevorzugt für Hydrierungsreaktionen. Grundsätzlich sind die erfindungsgemäßen Katalysatorformkörper für alle Hydrierreaktionen, die mit Raney-Metall-Katalysatoren katalysiert werden, gut geeignet. Bevorzugte Verwendungen der erfindungsgemäßen katalytisch aktiven Metallschaumkörper sind selektive Hydrierverfahren von Carbonylverbindungen, Olefinen, aromatischen Ringen, Nitrilen und Nitroverbindungen. Konkrete Beispiele sind die Hydrierung von Carbonylgruppen, die Hydrierung von Nitrogruppen zu Aminen, die Hydrierung von Polyolen, die Hydrierung von Nitrilen zu Aminen, z.B. die Hydrierung von Fettnitrilen zu Fettaminen, die Dehydrierung von Alkoholen, die reduktive Alkylierung, die Hydrierung von Olefinen zu Alkanen und die Hydrierung von Aziden zu Aminen. Besonders bevorzugt ist der Einsatz bei der Hydrierung von Carbonylverbindungen.

- In einem weiteren Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung daher die Verwendung aktivierter und gegebenenfalls dotierter Metallschaumkörper erhältlich nach einem der erfindungsgemäßen Verfahren als Katalysatoren für chemische Transformationen, bevorzugt für chemische Transformationen ausgewählt aus Hydrierung, Isomerisierung, Hydratisierung, Hydrogenolyse, reduktive Aminierung, reduktive Alkylierung, Dehydrierung, Oxidation, Dehydrierung und Umlagerung.

Beispiele

25

1. Bereitstellen von Metallschaumkörpern

Es wurden drei Metallschaummatten (a, b, c) aus Nickel bereitgestellt, (Hersteller: AATM, Dicke: 1,9 mm, Flächengewicht: 1000 g/m², durchschnittlicher Porendurchmesser: 580 µm).

30 2. Aufbringen von Aluminium-Pulver

Anschließend wurde auf alle Metallschaummatten zunächst Binderlösung aufgesprüht (Polyethyleneimine (2,5 Gew%) in Wasser) und dann pulverförmiges Aluminium (Hersteller: Mepura, durchschnittliche Korngröße: < 63 µm, mit 3 Gew% Zusatz von Ethylene bis(stearamide)) als trockenes Pulver aufgebracht (ca. 400 g/m²).

35

Nach der Beschichtung der Schaummatten wurden 6 quaderförmige Schaumkörper unterschiedlicher Dicke (a1, a2, a3, b1, b2, b3) durch Übereinanderstapeln einzelner Lagen der Dicke 1,9 mm (Länge und Breite je 25 mm) hergestellt. Um die Anzahl der Berührungspunkte und die Kontaktfläche zu vergrößern, wurden die Schaumkörper anschließend um ca 30% komprimiert. Metallschaumkörper a1, a2 und a3: Dicke 9 mm (7 Lagen je 1,9 mm dick = 13,3 mm Dicke; Kompression auf 9 mm)

40

Metallschaumkörper b1, b2 und b3: Dicke 12 mm (9 Lagen je 1,9 mm dick = 17,1 mm Dicke, Kompression auf 12 mm)

3. Thermische Behandlung

- 5 Danach wurden alle Metallschaumkörper in einem Ofen unter Stickstoff-Atmosphäre einer thermischen Behandlung unterzogen. Dabei wurde zunächst thermisch der Binder bei 350 °C für 30 min entfernt und anschließend in 10 min auf die Höchsttemperatur aufgeheizt, diese wurde für einen definierten Zeitraum (Dauer der Behandlung) gehalten und anschließend abgeschreckt auf unter 200°C.

10

Metallschaumkörper	Behandlungstemperatur (°C)	Dauer der Behandlung (min)
a1 (Dicke: 9 mm)	679	3
a2 (Dicke: 9 mm)	660	15
a3 (Dicke: 9 mm)	679	15
b1 (Dicke: 12 mm)	674	9
b2 (Dicke: 12 mm)	660	15
b3 (Dicke: 12 mm)	679	9

4. Bestimmung des Legierungsausmaßes

- 15 Am Ende wurde das Ausmaß der Legierungsbildung in den Metallschaumkörpern bestimmt. Dazu wurden Querschliffe der Metallschaumkörper unter Mikroskop und Rasterelektronenmikroskop untersucht.

Dabei ergab sich folgendes Ergebnis:

- Während bei Metallschaumkörpern a1 und b1 oberflächliche Legierungsbildung stattgefunden hat, aber unlegierte Bereiche im Inneren des Metallschaums verblieben sind, hat bei
 20 Metallschaumkörper a2 und b2 keine Legierungsbildung stattgefunden, und bei Metallschaumkörper a3 und b3 ist die Legierungsbildung so weit fortgeschritten, dass keine unlegierten Bereiche im Inneren des Metallschaums verblieben sind.

- 25 Aus vorhergehenden Experimenten ist unter anderem ferner folgendes bekannt: Wird die Temperatur zur Legierungsbildung oberhalb von 680 °C gewählt zum Beispiel 700°C, dann reagiert das Aluminium mit dem Nickel unkontrolliert und der Formkörper brennt ab und nur Pulverreste bleiben übrig.

- 30 Dieses Ergebnis zeigt deutlich, dass ein Abweichen von den erfindungsgemäßen Bedingungen der thermischen Behandlung dazu führt, dass eine oberflächliche Legierungsbildung unter Verbleib unlegierter Bereiche im Inneren des Metallschaums schwer erreichbar wird.

5. Bestimmung der Lage der Grenzkurven der Heizdauer

Auf Grundlage der oben genannten Ergebnisse wurde die Lage der Grenzkurven für die Heizdauer, die bei gegebener Heiztemperatur zu oberflächlicher Legierungsbildung unter Verbleib unlegierter Bereiche im Inneren des Metallschaums führt, mit einem sigmoiden Modell (Heizdauer $= d + (a - d) / (1 + (\text{Heiztemperatur} / c)^b)$) ermittelt.

5

Als Grenzwerte für die Lage der oberen Kurve (maximale Heizdauer) wurden dazu folgende Werte eingesetzt:

	Temp (°C)	→	Dauer (min)
10	680	→	10
	675	→	12
	665	→	30
	660	→	60

15 Als Grenzwerte für die Lage der unteren Kurve (minimale Heizdauer) wurden dazu folgende Werte eingesetzt:

	Temp (°C)	→	Dauer (min)
	680	→	2
20	675	→	3
	665	→	20
	660	→	30

25 Für die Lage der Grenzkurven ergab sich dabei folgendes Ergebnis (Angabe von H in Minuten und Angabe von T in °C):

maximale Dauer $H_{\max} = d1 + (a1 - d1) / (1 + (T / c1)^{b1})$, mit

30 $a1 = 366,1$;
 $b1 = 129,0$;
 $c1 = 650,9$;
 $d1 = 8,7$;

35 und minimale Dauer $H_{\min} = d2 + (a2 - d2) / (1 + (T / c2)^{b2})$, mit

$a2 = 33,5$;
 $b2 = 235,5$;
 $c2 = 665,8$;
 40 $d2 = 1,8$.

6. *Bestimmung der Intervallgrenzen für die Temperatur der thermischen Behandlung in Abhängigkeit von der Dicke der behandelten Metallschaumkörper*

- Die Lage der Intervallgrenzen für die Temperatur der thermischen Behandlung in Abhängigkeit von
- 5 der Dicke der behandelten Metallschaumkörper ergab sich aus den oben dargestellten Ergebnissen und weiteren Erfahrungswerten.

Die Temperatur T der thermischen Behandlung (in °C) sollte, abhängig von der Dicke D des Metallschaumkörpers AX (in Millimeter), wie folgt gewählt werden:

10

für $0 \text{ mm} < D \leq 10 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 680 \text{ °C}$,
für $10 \text{ mm} < D \leq 20 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 675 \text{ °C}$,
für $20 \text{ mm} < D \leq 30 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 665 \text{ °C}$
für $30 \text{ mm} < D$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 660 \text{ °C}$.

15

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Metallschaumkörpers, umfassend die folgenden Schritte:
- 5
- (a) Bereitstellen eines Metallschaumkörpers A, der aus Nickel, Cobalt, Kupfer, oder deren Legierungen oder Kombinationen besteht,
- (b) Aufbringen eines aluminiumhaltigen Materials MP auf Metallschaumkörper A, so dass
- 10 Metallschaumkörper AX erhalten wird,
- (c) thermische Behandlung von Metallschaumkörper AX, unter Sauerstoffausschluss, um Legierungsbildung zu erreichen zwischen den metallischen Anteilen von Metallschaumkörper A und dem aluminiumhaltigen Material MP, so dass
- 15 Metallschaumkörper B erhalten wird,
- wobei die Dauer H der thermischen Behandlung (in Minuten), in Abhängigkeit von der Temperatur T der thermischen Behandlung (in °C), wie folgt gewählt wird:
- 20 $H_{\min} < H < H_{\max}$, mit
- maximale Dauer $H_{\max} = d1 + (a1 - d1) / (1 + (T / c1)^{b1})$, und
- minimale Dauer $H_{\min} = d2 + (a2 - d2) / (1 + (T / c2)^{b2})$,
- 25 wobei
- $a1 = 366,1$;
- $b1 = 129,0$;
- $c1 = 650,9$;
- 30 $d1 = 8,7$;
- $a2 = 33,5$;
- $b2 = 235,5$;
- $c2 = 665,8$;
- 35 $d2 = 1,8$;
- und wobei die Temperatur T der thermischen Behandlung, abhängig von der Dicke D des Metallschaumkörpers AX, wie folgt gewählt wird:
- 40 für $0 \text{ mm} < D \leq 10 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 680 \text{ °C}$,
- für $10 \text{ mm} < D \leq 20 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ °C} < T \leq 675 \text{ °C}$,

für $20 \text{ mm} < D \leq 30 \text{ mm}$ gilt $600 \text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 665 \text{ }^{\circ}\text{C}$

für $30 \text{ mm} < D$ gilt $600 \text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 660 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 5 2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das aluminiumhaltige Material MP ein aluminiumhaltiges Pulver ist und ein organisches Bindemittel zusammen mit oder vor dem aluminiumhaltigen Pulver auf Metallschaumkörper A aufgebracht wird.
- 10 3. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei Metallschaumkörper A aus Nickel besteht.
- 15 4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei Metallschaumkörper A eine Rohdichte im Bereich von 100 bis 1500 kg/m^3 , bevorzugt von 200 bis 1200 kg/m^3 und besonders bevorzugt von 300 bis 600 kg/m^3 aufweist.
- 20 5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei Metallschaumkörper A eine spezifische BET-Oberfläche von 100 bis $20.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$, bevorzugt von 1.000 bis $6.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ aufweist.
- 25 6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei Metallschaumkörper A eine Porosität von $0,50$ bis $0,95$ aufweist.
- 30 7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das aluminiumhaltige Material MP in Schritt (b) metallisches Aluminium in einer Menge von 80 bis $100 \text{ Gew\%}$, bevorzugt von 80 bis $99,8 \text{ Gew\%}$, und besonders bevorzugt von 90 bis $99,5 \text{ Gew\%}$, bezogen auf das aluminiumhaltige Material MP, enthält.
- 35 8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das aluminiumhaltige Material MP ein Pulver aus Teilchen ist, von denen $95 \text{ \%}$ einen Durchmesser im Bereich von 5 bis $75 \text{ }\mu\text{m}$ aufweisen.
- 40 9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, ferner umfassend den folgenden Schritt:

(d) Aktivieren des Metallschaumkörpers B durch Behandlung mit einem Auslaugungsmittel.
10. Verfahren gemäß Anspruch 9, wobei die Behandlung des Metallschaumkörpers B mit Auslaugungsmittel für eine Dauer im Bereich von 5 Minuten bis 8 Stunden, bei einer Temperatur im Bereich von 20 bis $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgeführt wird, und wobei das Auslaugungsmittel eine wässrige NaOH-Lösung mit einer NaOH-Konzentration zwischen 2 und $30 \text{ Gew\%}$ ist.

11. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 10, ferner umfassend den folgenden Schritt:

- (e) Nachdotieren des aktivierten Metallschaumkörpers B mit einem Promotorelement, vorzugsweise ausgewählt aus Mo, Pt, Pd, Rh, Ru, Cu und Mischungen davon.

5

12. Metallschaumkörper erhältlich nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8.

13. Metallschaumkörper erhältlich nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11.

10

14. Verwendung eines Metallschaumkörpers gemäß Anspruch 13 als Katalysator für eine chemische Transformation.

15

15. Verwendung gemäß Anspruch 14, wobei die chemische Transformation ausgewählt ist aus Hydrierung, Isomerisierung, Hydratisierung, Hydrogenolyse, reduktive Aminierung, reduktive Alkylierung, Dehydrierung, Oxidation, Dehydrierung und Umlagerung.