



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
19.01.2022 Patentblatt 2022/03

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C06B 23/00 (2006.01) **C06B 45/10** (2006.01)
C06D 5/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21180751.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C06D 5/06; C06B 23/007; C06B 45/105

(22) Anmeldetag: **22.06.2021**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Fischer, Sebastian**
76327 Pfingsttal (DE)
• **Sims, Stefan**
76327 Pfingsttal (DE)
• **Tagliabue, Claudio**
76327 Pfingsttal (DE)

(30) Priorität: **17.07.2020 DE 102020118962**

(74) Vertreter: **Lichti - Patentanwälte Partnerschaft mbB**
Bergwaldstrasse 1
76227 Karlsruhe (DE)

(71) Anmelder: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
80686 München (DE)

(54) **SCHNELLBRENNENDER FESTTREIBSTOFF MIT EINEM OXIDATOR, EINEM ENERGETISCHEN BINDER UND EINEM METALLISCHEN ABBRANDMODIFIKATOR SOWIE VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG**

(57) Es wird ein schnellbrennender Festtreibstoff nach Art eines Komposit-Treibstoffes, insbesondere für Raketen, vorgeschlagen, welcher die folgenden Bestandteile enthält:

- (a) einen Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN);
- (b) einen energetischen Binder aus der Gruppe der Glycidyl-Azidpolymere (GAP), der Poly(3,3-bis-azidomethyl-oxe-tane) (poly-BAMO), der Poly(glycidyl)-nitrate (poly-GLYN), der Poly(3-nitratomethyl-3-methyl-oxetane) (poly-NIMMO) und der Poly(3-acidomethyl-3-me-

thyl-oxe-tane (poly-AMMO) einschließlich deren Derivaten und Mischungen; und

(c) einen Abbrandmodifikator aus der Gruppe der Metalle und Halbmetalle einschließlich deren Legierungen und Hydriden.

Um die Abbrandgeschwindigkeit eines solchen Festtreibstoffes zu erhöhen, sieht die Erfindung vor, dass der Abbrandmodifikator in Form von Fasern vorliegt. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Festtreibstoffes auf der Basis von ADN.

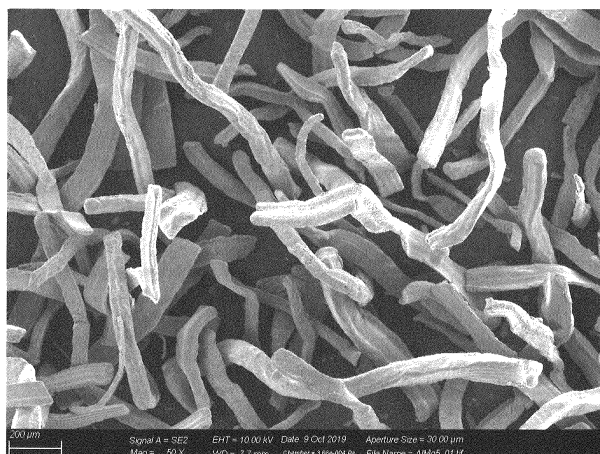


Fig. 4

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Festtreibstoff, enthaltend

- (a) wenigstens einen Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN);
- (b) wenigstens einen energetischen Binder aus der Gruppe der Glycidyl-Azidpolymere (GAP), der Poly(3,3-bis-azidomethyl-oxetane) (poly-BAMO), der Poly(glycidyl)-nitrate (poly-GLYN), der Poly(3-nitratomethyl-3-methyl-oxetane) (poly-NIMMO) und der Poly(3-acidomethyl-3-methyl-oxetane) (poly-AMMO) einschließlich deren Derivaten und Mischungen; und
- (c) wenigstens einen Abbrandmodifikator aus der Gruppe der Metalle und Halbmetalle einschließlich deren Legierungen und Hydriden,

sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

[0002] Schnellbrennende Festtreibstoffe mit einem Oxidator und einem energetischen Binder der vorgenannten Art sind bekannt und werden auch als Komposit-Treibstoffe bezeichnet. Im Gegensatz zu relativ langsam und insbesondere bei möglichst tiefen Temperaturen abbrennenden Treibsätzen, wie sie vornehmlich in Gasgeneratoren für Airbags eingesetzt werden und welchen häufig Kühlmittel zugesetzt sind, zeichnen sich gattungsgemäße schnellbrennende Festtreibstoffe dadurch aus, dass beim Zünden derselben infolge ihrer Verbrennung ein großes Gasvolumen spontan freigesetzt wird. Gattungsgemäße Festtreibstoffe finden sowohl im zivilen als auch im militärischen Bereich vielfältigen Einsatz, wie insbesondere als Festtreibstoffe für Raumflugkörper (Raketen) und strategische Waffensysteme, als Treibsätze für Rohrwaffen oder auch als Sprengstoffsysteme. Während sich als energetische Binder vornehmlich stickstoffreiche und kohlenstoffarme Brennstoffe bewährt haben, welche größtenteils ungiftige Gase, insbesondere Stickstoff, freisetzen, kommen als Oxidatoren vornehmlich Oxidatorsalze, wie Ammoniumdinitramid (ADN), aber auch Ammoniumnitrat (AN), Ammoniumperchlorat (AP), Kaliumdinitramid (KDN), Kaliumnitrat (KN) und Hydroxylammoniumnitrat (HAN), zum Einsatz.

[0003] Die Herstellung gattungsgemäßer Festtreibstoffe geschieht in der Regel durch Einbringen der pulver- oder partikelförmigen Oxidatoren in eine zu der energetischen Bindermatrix aushärtbare, flüssige oder viskose Reaktionsmischung, wonach die Reaktionsmischung z.B. gegossen und zu dem Binder ausgehärtet wird, wie beispielsweise unter Einsatz von Di- oder - je nach gewünschtem Vernetzungsgrad des Binders - Tri- und/oder Polyisocyanaten. Lediglich exemplarisch sei in diesem Zusammenhang für einen energetischen Binder in Form von Glycidyl-Azidpolymeren (GAP) erwähnt, dass z.B. das entsprechende GAP-Diol ($\text{HO}-(\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_2\text{N}_3)\text{O})_n-\text{H}$) mit entsprechenden Di- oder Polyisocyanaten zu dem GAP ausgehärtet werden

kann. Gegenüber einem Verpressen, welches einen Binderanteil von bis zu etwa 10 Mass.-% ermöglicht, erweist sich hierbei im Hinblick auf einen erhöhten Binderanteil insbesondere ein Gießen der mit den festen Oxidatoren versetzten Bindermatrix als vorteilhaft, zumal die Oxidatoren verhältnismäßig reib- und schlagempfindlich sind und somit ein Sicherheitsrisiko während der Verarbeitung darstellen.

[0004] Um bei sogenannten "high-velocity-Anwendungen", wie beispielsweise in Festtreibstoffen für Raketenantriebssysteme, für eine hohe Abbrandgeschwindigkeit, aber gleichwohl für einen möglichst umweltfreundlichen, raucharmen Festtreibstoff zu sorgen, ist es bekannt, dem Festtreibstoff Abbrandmodifikatoren in Form von feinen Metall- und/oder Halbmetallpulvern zuzusetzen, wie beispielsweise in Form von Aluminium, Magnesium, Beryllium, Bor, Kupfer, Blei etc. (US 5 498 303 A, US 2005/0115651 A1, RU 2 516 711 C oder RU 2 582 712 C).

[0005] Die US 2018/0179119 A1 beschreibt einen Festtreibstoff mit einem in einen Binder eindispersierten Oxidator mit einem Anion aus der Gruppe der Nitrate, der Perchlorate, der Chlorate, der Permanganate oder der Peroxide sowie Mischungen hieraus. Das Kation des Oxidators ist insbesondere aus der Gruppe der Alkalimetalle, wie Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium und Cäsium, der Erdalkalimetalle, wie Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium und Barium, der Übergangsmetalle, Ammonium und der quartären Amine gewählt, wobei der Oxidator beispielsweise in Form von Ammoniumperchlorat (AP), Kaliumnitrat (KN) und Ammoniumnitrat (AN) vorliegen kann. Bei dem Binder kann es sich unter anderem um einen energetischen Binder, z.B. um einen solchen aus der Gruppe der Glycidyl-Azidpolymere (GAP), handeln. Darüber hinaus kann der bekannte Festtreibstoff ein Metall, z.B. aus der Gruppe der Alkali-, Erdalkali- und Übergangsmetalle enthalten. Das Metall, welches mit einem Anteil von bis zu 20 Mass.-% zugesetzt sein kann und als Elektronendonator und/oder Sauerstoffakzeptor für die Oxidationsreaktion dient, kann in beliebiger geometrischer Form, wie beispielsweise in Form von sphärischen, abgerundeten, zylindrischen, würfelförmigen, plättchen- oder flockenförmigen Partikeln oder in Form von Metallstrukturen, wie Metallfäden, -stäbchen oder -netzwerken, vorliegen, wobei die Oberfläche der Metallpartikel als für die Abbrandgeschwindigkeit maßgeblich erachtet wird.

[0006] Als nachteilig erweist sich allerdings einerseits, dass derartige Abbrandmodifikatoren auf der Basis von Metallen oder Halbmetallen eine sowohl gegenüber dem Oxidator als auch gegenüber dem Binder hohe Masse besitzen, wohingegen das Treibstoffgewicht insbesondere im Falle des Einsatzes des Festtreibstoffes für Raketen oder andere Flugkörper möglichst gering gehalten werden sollte. Andererseits fallen die Abbrandmodifikatoren nach dem Abbrand des Festtreibstoffes als Feststoffrest - sei es in Form von (Halb)metalloxiden oder sei es in Form von zumindest teilweise noch elementaren

(Halb)metallen - an, wohingegen die übrigen Treibstoffbestandteile zu gasförmigen und somit flüchtigen Komponenten umgesetzt werden können. Zudem ist die Wirkung von (Halb)metallen als Abbrandmodifikator insbesondere im Falle von Ammoniumdinitramid (ADN) als Oxidator begrenzt, welches aufgrund seiner guten Sauerstoffbilanz und hohen Bildungsenthalpie und nicht zuletzt aufgrund seiner höheren Umweltverträglichkeit, z.B. gegenüber Perchloraten, als Oxidationsmittel für Raketentreibstoffe von Vorteil ist.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, unter zumindest weitgehender Vermeidung der vorgenannten Nachteile einen Festtreibstoff auf der Basis von Ammoniumdinitramid (ADN) der eingangs genannten Art auf einfache und kostengünstige Weise dahingehend weiterzubilden, dass seine Abbrandgeschwindigkeit erhöht wird. Sie ist ferner auf ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Festtreibstoffes gerichtet.

[0008] Der erste Teil dieser Aufgabe wird erfindungsgemäß bei einem Festtreibstoff auf der Basis von Ammoniumdinitramid (ADN) der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass der wenigstens eine Abbrandmodifikator in Form von Fasern vorliegt.

[0009] Überraschenderweise wurde gefunden, dass die erfindungsgemäße Ausgestaltung, bei welcher der wenigstens eine Abbrandmodifikator aus der Gruppe der Metalle und Halbmetalle einschließlich deren Legierungen und Hydriden in Form von einer Mehrzahl an Fasern in die Matrix aus dem wenigstens einen energetischen Binder mit dem hierin eingebrachten, wenigstens einen Oxidator in Form von ADN eindispersiert ist, zu einer signifikant erhöhten Abbrandgeschwindigkeit gegenüber derselben Menge an Abbrandmodifikator in Form von im Wesentlichen sphärischen, kantigen, plättchenförmigen oder andersartigen Partikeln führt, wobei vermutet wird, dass hierbei einerseits die hohe Wärmeleitfähigkeit der faserförmigen Abbrandmodifikatoren eine Rolle spielt, welche die anlässlich des Abbrandes des Festtreibstoffes entstehende Wärme in Erstreckungsrichtung der Fasern schnell in benachbarte Bereiche des Festtreibstoffes weiterleiten zu vermögen. Andererseits wird vermutet, dass die gegenüber weitgehend sphärischen Partikeln zwar geringere, aber immer noch sehr große Oberfläche der (halb)metallischen Faserstrukturen der Abbrandmodifikatoren infolge bei ihrem Abbrand entstehender Poren mit länglicher Porenform zu der erhöhten Abbrandgeschwindigkeit beiträgt. Auf diese Weise lässt sich der Anteil an Abbrandmodifikator gegenüber dem Stand der Technik verringern, oder es kann bei entsprechendem Anteil an Abbrandmodifikator eine höhere Abbrandgeschwindigkeit erreicht werden, wie sie andernfalls mit einem gattungsgemäßen Festtreibstoff auf der Basis von ADN gemäß dem Stand der Technik nicht erzielbar wäre. Der Querschnittsform der Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators sind dabei keine Grenzen gesetzt, wobei die Fasern beispielsweise einen im Wesentlichen runden, z.B. etwa kreisrunden oder ovalen, Querschnitt besitzen können, oder die Fasern kön-

nen beispielsweise auch einen flachen, z.B. im Wesentlichen rechteckförmigen, Querschnitt aufweisen, was zu einer noch größeren Oberfläche und einer noch besseren Wärmeleitung an die umgebende energetische Bindermatrix, welche mit dem wenigstens einen Oxidator in Form von ADN versetzt ist, führen kann.

[0010] Hierbei hat sich insbesondere die Fasergeometrie der Abbrandmodifikatoren als entscheidend erwiesen, wobei die Fasern einerseits nicht zu "kurz" sein dürfen, um ihre erfindungsgemäße Funktion zu erfüllen, andererseits aber auch nicht zu "lang" sein dürfen, um bei einer einfachen Verarbeitung einen Faserbruch und somit eine Beeinträchtigung der Reproduzierbarkeit zu vermeiden und insbesondere für einen geregelten Abbrand des schnellbrennenden Festtreibstoffes auf der Basis von ADN zu sorgen. Darüber hinaus darf der Querschnitt der Fasern nicht zu "klein" sein, damit die Fasern ihre erfindungsgemäße Funktion zu erfüllen vermögen, wohingegen der Querschnitt der Fasern auch nicht zu "groß" sein darf, um wiederum für eine einfache Verarbeitung des Festtreibstoffes und insbesondere für einen geregelten, möglichst rückstandsarmen Abbrand zu sorgen.

[0011] In diesem Zusammenhang wurde gefunden, dass die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators zweckmäßigerweise

- ein Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von wenigstens etwa 5:1, insbesondere von wenigstens etwa 10:1, vorzugsweise von wenigstens etwa 15:1, beispielsweise von wenigstens etwa 20:1; und/oder
- ein Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von höchstens etwa 600:1, insbesondere von höchstens etwa 550:1, vorzugsweise von höchstens 500:1, beispielsweise von höchstens etwa 450:1,

aufweisen. Als besonders bevorzugt hat sich hierbei ein Bereich des Verhältnisses von mittlerer Faserlänge zu mittlerem Faserquerschnitt von etwa 10:1 bis etwa 500:1, insbesondere von etwa 10:1 bis etwa 450:1, erwiesen.

[0012] Darüber hinaus wurde in diesem Zusammenhang gefunden, dass die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators zweckmäßigerweise

- einen mittleren Querschnitt von höchstens etwa 200 pm, insbesondere von höchstens etwa 170 pm, vorzugsweise von höchstens etwa 140 pm, beispielsweise von höchstens etwa 110 pm; und/oder
- einen mittleren Querschnitt von mindestens etwa 1 pm, insbesondere von mindestens etwa 5 pm, vorzugsweise von mindestens etwa 10 pm; und/oder
- eine mittlere Länge von wenigstens etwa 250 pm, insbesondere von wenigstens etwa 500 pm, vorzugsweise von wenigstens etwa 750 pm, beispielsweise von wenigstens etwa 1 mm; und/oder
- eine mittlere Länge von höchstens etwa 10 mm, insbesondere von höchstens etwa 7,5 mm, vorzugs-

weise von höchstens etwa 5 mm,

aufweisen. Auf diese Weise ergibt sich eine für eine signifikante Erhöhung der Abbrandgeschwindigkeit hinreichende Faserlänge bei gleichwohl homogenem und praktisch vollständigem Abbrand des schnellbrennenden Festtreibstoffes auf der Basis von ADN unter Gewährleistung einer einfachen Verarbeitung. Der Faserquerschnitt in den vorgenannten Intervallen erweist sich dabei einerseits in Bezug auf eine hinreichende Faserstabilität, andererseits in Bezug auf die Möglichkeit eines nur verhältnismäßig geringen Anteils an Abbrandmodifikatoren als vorteilhaft.

[0013] Gemäß einer Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators in Form von einer Mehrzahl an losen Schnitffasern vorliegen, so dass sie - ähnlich wie der pulver- bzw. partikelförmige Oxidator auf der Basis von ADN -, vorzugsweise weitestgehend homogen, in die energetische Bindermatrix eindispersiert sind. Alternativ oder zusätzlich kann es vorteilhaft sein, wenn die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators in Form eines textilen Flächen- oder Raumgebildes mit einer Mehrzahl an Fasern, insbesondere aus der Gruppe Vlies, Gewirke, Gelege, Gestricke oder Gewebe, in der Bindermatrix vorliegen, wobei die mit dem pulver- bzw. partikelförmigen Oxidator auf der Basis von ADN versetzte energetische Bindermatrix das textile Flächen- oder Raumgebilde umgibt bzw. letzteres mit der mit dem pulver- bzw. partikelförmigen Oxidator auf der Basis von ADN versetzten energetischen Bindermatrix imprägniert ist.

[0014] Je nach Einsatzzweck kann der erfindungsgemäße Festtreibstoff vorteilhafterweise

(a)

- wenigstens etwa 40 Mass.-%, insbesondere wenigstens etwa 50 Mass.-%, beispielsweise wenigstens etwa 55 Mass.-%, und/oder
- höchstens etwa 90 Mass.-%, insbesondere höchstens etwa 80 Mass.-%, vorzugsweise höchstens etwa 75 Mass.-%, des wenigstens einen Oxidators in Form von Ammoniumdinitramid (ADN);

(b)

- wenigstens etwa 5 Mass.-%, insbesondere wenigstens etwa 10 Mass.-%, vorzugsweise wenigstens etwa 15 Mass.-%, und/oder
- höchstens etwa 40 Mass.-%, insbesondere höchstens etwa 30 Mass.-%, vorzugsweise höchstens etwa 35 Mass.-%,

des wenigstens einen energetischen Binders; und
(c)

- wenigstens etwa 0,5 Mass.-%, insbesondere

wenigstens etwa 1 Mass.-%, vorzugsweise wenigstens etwa 1,5 Mass.-%, und/oder

- höchstens etwa 12,5 Mass.-%, insbesondere höchstens etwa 10 Mass.-%, vorzugsweise höchstens etwa 7,5 Mass.-%,

des wenigstens einen Abbrandmodifikators, jeweils bezogen auf die Masse des gesamten Festtreibstoffes, enthalten oder im Wesentlichen gänzlich hieraus bestehen.

[0015] Während als faserförmige Abbrandmodifikatoren des erfindungsgemäßen Festtreibstoffes grundsätzlich beliebige, aus dem Stand der Technik als solche bekannte Metalle und Halbmetalle einschließlich deren Legierungen und Hydriden in Betracht kommen, wie z.B. Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Zinn (Sn), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Chrom (Cr), Titan (Ti), Silicium (Si), Blei (Pb) und dergleichen, kann der Festtreibstoff auf der Basis von ADN vorzugsweise wenigstens einen Abbrandmodifikator aus der Gruppe Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Kupfer (Cu), Zink (Zn) einschließlich deren Legierungen und Hydriden enthalten.

[0016] Wie ebenfalls bereits erwähnt, kann der wenigstens eine Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) in Pulver- oder Partikelform in die Bindermatrix des schnellbrennenden Festtreibstoffes eindispersiert sein, wie es als solches aus dem Stand der Technik von Komposit-Treibstoffen als solches bekannt ist.

[0017] Gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Festtreibstoffes kann überdies vorgesehen sein, dass er ferner wenigstens ein energetisches Plastifizierungsmittel enthält, welches insbesondere aus der Gruppe der Nitratester und der Azido-Weichmacher gewählt sein kann. Vorteilhafte Vertreter geeigneter energetischer Weichmacher umfassen beispielsweise Alkylnitrat-ethylnitramine (NENA), Ethylenglycoldinitrate (EGDN), Metrioltrinitrate (MTN), Butan-1,2,4-trioltrinitrate (BTTN), Dinitrodiazaalkane (DNDA), Trimethylethan-Trinitrate (TMETN), Ethylenglycol-bis-(azidoacetate) (EGBAA, auch als "A17" bezeichnet) sowie 1,2-Bis-(2-azidoethoxy)ethane (TEGDA, auch als Bis-azido-triethylenglycole bzw. BATEG bezeichnet) einschließlich deren Derivaten und Mischungen.

[0018] Alternativ oder zusätzlich kann bedarfsweise vorgesehen sein, dass der erfindungsgemäße Festtreibstoff wenigstens einen weiteren Oxidator, beispielsweise aus der Gruppe Ammoniumnitrat (AN), Ammoniumperchlorat (AP), Kaliumdinitramid (KDN), Kaliumnitrat (KN), Hydroxylammoniumnitrat (HAN) und dergleichen, enthält, wobei er anstelle einer solchen Mischung aus ADN mit einem oder mehreren anderen, zweckmäßigerweise gleichfalls etwa pulver- oder partikelförmigen, Oxidatorsalzen selbstverständlich auch im Wesentlichen ausschließlich ADN als Oxidator enthalten kann.

[0019] Zur Lösung des der Erfindung zugrundeliegenden Problems sieht die Erfindung neben einem schnell-

brennenden Festtreibstoff der vorbeschriebenen Art ein Verfahren zu dessen Herstellung vor, welches die folgenden Schritte umfasst:

- (a) Bereitstellen wenigstens eines Oxidators in Form von Ammoniumdinitramid (ADN);
- (b) Bereitstellen einer zu einem energetischen Binder aus der Gruppe der Glycidyl-Azidpolymere (GAP), der Poly-(3,3-bis-azidomethyl-oxetane) (poly-BAMO), der Poly-(glycidyl)-nitrate (poly-GLYN), der Poly(3-nitratomethyl-3-methyl-oxetane) (poly-NIMMO) und der Poly(3-acidomethyl-3-methyl-oxetane) (poly-AMMO) einschließlich deren Derivaten und Mischungen aushärtbaren, flüssigen oder viskosen Reaktionsmischung;
- (c) Bereitstellen wenigstens eines Abbrandmodifikators aus der Gruppe der Metalle und Halbmetalle einschließlich deren Legierungen und Hydriden in Form von Fasern;
- (d) Eindispersieren des wenigstens einen Oxidators in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) in Pulver- oder Partikelform in die zu dem energetischen Binder aushärtbare, flüssige oder viskose Reaktionsmischung;
- (e)

- Eindispersieren der Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators in Form loser Schnittfasern in die mit dem wenigstens einen Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) versetzte, zu dem energetischen Binder aushärtbare, flüssige oder viskose Reaktionsmischung, oder
- Imprägnieren der Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators in Form eines textilen Flächen- oder Raumgebildes, insbesondere aus der Gruppe Vlies, Gewirke, Gelege, Gestricke oder Gewebe, mit der mit dem wenigstens einen Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) versetzten, zu dem energetischen Binder aushärtbaren, flüssigen oder viskosen Reaktionsmischung; und

- (f) Aushärten der Reaktionsmischung zu dem energetischen Binder unter Erhalt des Festtreibstoffes.

[0020] Aus den weiter oben genannten Gründen erweist es sich hierbei als zweckmäßig, wenn die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators gemäß Schritt (c) derart bereitgestellt werden, dass sie

- ein Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von wenigstens etwa 5:1, insbesondere von wenigstens etwa 10:1, vorzugsweise von wenigstens etwa 15:1, beispielsweise von wenigstens etwa 20:1; und/oder
- ein Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von höchstens etwa 600:1, insbe-

sondere von höchstens etwa 550:1, vorzugsweise von höchstens etwa 500:1, beispielsweise von höchstens etwa 450:1,

aufweisen.

[0021] Darüber hinaus erweist es sich aus den oben genannten Gründen als zweckmäßig, wenn die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators gemäß Schritt (c) derart bereitgestellt werden, dass sie

- einen mittleren Querschnitt von höchstens etwa 200 pm, insbesondere von höchstens etwa 170 pm, vorzugsweise von höchstens etwa 140 pm; beispielsweise von höchstens etwa 110 pm, und/oder
- einen mittleren Querschnitt von mindestens etwa 1 pm, insbesondere von mindestens etwa 5 pm, vorzugsweise von mindestens etwa 10 pm; und/oder
- eine mittlere Länge von wenigstens etwa 250 pm, insbesondere von wenigstens etwa 500 pm, vorzugsweise von wenigstens etwa 750 pm, beispielsweise von wenigstens etwa 1 mm; und/oder
- eine mittlere Länge von höchstens etwa 10 mm, insbesondere von höchstens etwa 7,5 mm, vorzugsweise von höchstens etwa 5 mm,

aufweisen.

[0022] Je nach Einsatzzweck des erfindungsgemäßen Festtreibstoffes kann vorteilhafterweise vorgesehen sein, dass

(a) der wenigstens eine Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) gemäß Schritt (a) mit einem Anteil von

- wenigstens etwa 40 Mass.-%, insbesondere wenigstens etwa 50 Mass.-%, beispielsweise wenigstens etwa 45 Mass.-%, und/oder
- höchstens etwa 90 Mass.-%, insbesondere höchstens etwa 80 Mass.-%, beispielsweise höchstens etwa 75 Mass.-%;

(b) der wenigstens eine energetische Binder gemäß Schritt (b) mit einem Anteil von

- wenigstens etwa 5 Mass.-%, insbesondere wenigstens etwa 10 Mass.-%, beispielsweise wenigstens etwa 15 Mass.-%, und/oder
- höchstens etwa 40 Mass.-%, insbesondere höchstens etwa 30 Mass.-%, beispielsweise höchstens etwa 35 Mass.-%; und

(c) der wenigstens eine Abbrandmodifikator gemäß Schritt (c) mit einem Anteil von

- wenigstens etwa 0,5 Mass.-%, insbesondere wenigstens etwa 1 Mass.-%, beispielsweise wenigstens etwa 1,5 Mass.-%, und/oder
- höchstens etwa 12,5 Mass.-%, insbesondere

höchstens etwa 10 Mass.-%, beispielsweise
höchstens etwa 7,5 Mass.-%,

jeweils bezogen auf die Masse des gesamten Fest-
treibstoffes, bereitgestellt wird.

[0023] Während als faserförmige Abbrandmodifikato-
ren des erfindungsgemäßen Festtreibstoffes auf der Ba-
sis von ADN grundsätzlich beliebige Metalle und Halb-
metalle einschließlich deren Legierungen und Hydriden
eingesetzt werden können, wie beispielsweise solche
der weiter oben genannten Art, kann vorzugsweise we-
nigstens ein Abbrandmodifikator gemäß Schritt (c) aus
der Gruppe Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Kupfer
(Cu), Zink (Zn) und deren Legierungen und Hydriden be-
reitgestellt werden.

[0024] Gemäß einer Weiterbildung kann darüber hin-
aus vorgesehen sein, dass der zu dem energetischen
Binder aushärtbaren Reaktionsmischung ferner wenigstens
ein energetisches Plastifizierungsmittel, insbeson-
dere aus der Gruppe der Alkylnitratethylnitramine (NE-
NA), der Ethylenglycoldinitrate (EGDN), der Metrioltrini-
trate (MTN), der Butan-1,2,4-trioltrinitrate (BTTN), der Di-
nitrodiazaalkane (DNDA), der Trimethylolethan-Trinitra-
te (TMETN), der Ethylenglycol-bis-(azidoacetate) (EG-
BAA, auch als "A17" bezeichnet) sowie der 1,2-Bis-(2-
azidoethoxy)ethane (TEGDA, auch als Bis-azido-triethy-
lenglycole bzw. BATEG bezeichnet) einschließlich deren
Derivaten und Mischungen, zugesetzt wird.

[0025] Während gemäß Schritt (a) im Wesentlichen
ausschließlich ADN als Oxidator eingesetzt werden
kann, kann überdies vorgesehen sein, dass wenigstens
ein weiterer Oxidator, zweckmäßigerweise gleichfalls in
Pulver- oder Partikelform, zugesetzt wird, wobei es sich
bei dem wenigstens einen weiteren Oxidator beispiels-
weise um Ammoniumnitrat (AN), Ammoniumperchlorat
(AP), Kaliumdinitramid (KDN), Kaliumnitrat (KN) und Hy-
droxylammoniumnitrat (HAN) und dergleichen handeln
kann.

[0026] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung
ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von
Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die
Zeichnungen. Dabei zeigen:

Fig. 1

ein Schaubild der Abbrandge-
schwindigkeit (r_b) über den Druck (p)
verschiedener Zusammensetzun-
gen eines Festtreibstoffes mit einer-
seits - 70 Mass.-% des Oxidators
Ammoniumdinitramid (ADN) und 30
Mass.-% eines energetischen Bin-
ders auf der Basis eines Glycidyl-
Azidpolymers (GAP), erhalten durch
Aushärten von GAP-Diol mit einem
Diisocyanat, ohne Abbrandmodifi-
kator als Referenz (untere Kurve:
"—■—"), andererseits - jeweils 67

5

10

15

20

Fig. 2

25

30

35

40

Fig. 3

45

50

55

Mass.-% des Oxidators ADN und je-
weils 30 Mass.-% desselben ener-
getischen Binders auf der Basis des
GAP, mit jeweils 3 Mass.-% eines
erfindungsgemäßen Abbrandmodi-
fiktors in Form von Schnitffasern
mit einem mittleren Faserquer-
schnitt von 90 μm und einer mittlere-
ren Faserlänge von 1 mm aus Kup-
fer (Cu; zweitunterste Kurve: "-♦-"),
einer Messinglegierung aus 66 bis
68 Mass.-% Kupfer (Cu) und 31 bis
35 Mass.-% Zink (Zn; zweitoberste
Kurve: "—◄—") und einer Alumi-
nium-/Magnesiumlegierung mit 93
Mass.-% Aluminium (Al) und 5
Mass.-% Magnesium (Mg) sowie
Spuren an Silicium (Si), Eisen (Fe)
und Kupfer (Cu; obere Kurve: "-●-");

ein Schaubild der Abbrandge-
schwindigkeit (r_b) über den Druck (p)
verschiedener Zusammensetzun-
gen eines erfindungsgemäßen
Festtreibstoffes mit jeweils 67
Mass.-% des Oxidators ADN, je-
weils 30 Mass.-% des energeti-
schen Binders auf der Basis des
GAP gemäß Fig. 1 sowie jeweils 3
Mass.-% eines erfindungsgemäßen
Abbrandmodifikators in Form einer
Aluminium-/Magnesiumlegierung
mit 93 Mass.-% Aluminium (Al) und
5 Mass.-% Magnesium (Mg) sowie
Spuren an Silicium (Si), Eisen (Fe)
und Kupfer (Cu), jeweils in Form von
Schnitffasern mit einem mittleren
Faserquerschnitt von 90 μm und ei-
ner mittleren Faserlänge von - 0,5
mm (untere Kurve: "-●-"), - 1,0 mm
(mittlere Kurve: "-■-") und - 3,0 mm
(obere Kurve: "-▲-");

ein Schaubild der Abbrandge-
schwindigkeit (r_b) über den Druck (p)
verschiedener Zusammensetzun-
gen eines Festtreibstoffes mit einer-
seits - jeweils 67 Mass.-% des Oxi-
dators ADN und jeweils 30 Mass.-%
des energetischen Binders auf der
Basis des GAP gemäß Fig. 1 und 2
sowie jeweils 3 Mass.-% eines Ab-
brandmodifikators in Pulverform mit
einem mittleren Partikeldurchmes-
ser von 20 μm aus Aluminium (Al;
untere Kurve: "-♦-") sowie aus einer
Aluminium-/Magnesiumlegierung

mit 93 Mass.-% Aluminium (Al) und 5 Mass.-% Magnesium (Mg) sowie Spuren an Silicium (Si), Eisen (Fe) und Kupfer (Cu; mittlere Kurve: "—◄—"), andererseits - 67 Mass.-% des Oxidators ADN und 30 Mass.-% desselben energetischen Binders auf der Basis des GAP sowie jeweils 3 Mass.-% eines erfindungsgemäßen Abbrandmodifikators aus derselben Aluminium-/Magnesiumlegierung mit 93 Mass.-% Aluminium (Al) und 5 Mass.-% Magnesium (Mg) sowie Spuren an Silicium (Si), Eisen (Fe) und Kupfer (Cu), aber in Form von Schnitffasern mit einem mittleren Faserquerschnitt von 90 µm und einer mittleren Faserlänge von 1,0 mm (obere Kurve: "—●—"); und

Fig. 4

eine rasterelektronenmikroskopische (REM) Aufnahme der in den Ausführungsbeispielen gemäß den Fig. 1 (obere Kurve: "—●—"), 2 und 3 (obere Kurve: "—●—") eingesetzten Schnitffasern der Aluminium-/Magnesiumlegierung mit 93 Mass.-% Aluminium (Al) und 5 Mass.-% Magnesium (Mg) sowie Spuren an Silicium (Si), Eisen (Fe) und Kupfer (Cu) mit einem mittleren Faserquerschnitt von 90 pm.

Ausführungsbeispiele:

[0027] Zur Herstellung der Festtreibstoffe, deren Abbrandgeschwindigkeiten (r_b) bei einem Druck (p) von jeweils 7 MPa, 10 MPa, 13 MPa, 18 MPa und 25 MPa ermittelt worden sind, wie es in den Fig. 1 bis 3 dokumentiert ist, wurden jeweils Partikel aus Ammoniumdinitramid (ADN) in ein flüssiges GAP-Diolharz eindispersiert, wonach die Mischung gegossen und in Gegenwart eines Diisocyanates zu dem energetischen Binder auf das Basis eines Glycidyl-Azidpolymers (GAP) ausgehärtet worden ist.

[0028] Während bei dem Referenzbeispiel ohne Abbrandmodifikatoren gemäß der Fig. 1 70 Mass.-% ADN und 30 Mass.-% GAP eingesetzt worden sind (untere Kurve: "—■—"), sind bei allen anderen Ausführungsbeispielen zum Zwecke der Vergleichbarkeit jeweils 67 Mass.-% ADN, 30 Mass.-% GAP sowie 3 Mass.-% eines metallischen Abbrandmodifikators verschiedenen Typs und verschiedener Geometrie verwendet worden, so im Falle der Fig. 1 geometrisch gleiche Schnitffasern mit einem mittleren Faserquerschnitt von 90 µm und einer mittleren Faserlänge von 1 mm aus Kupfer (Cu; zweitunterste Kurve: "—♦—"), einer Messinglegierung aus 66

bis 68 Mass.-% Kupfer (Cu) und 31 bis 35 Mass.-% Zink (Zn; zweitoberste Kurve: "—◄—") und einer Aluminium-/Magnesiumlegierung mit 93 Mass.-% Aluminium (Al) und 5 Mass.-% Magnesium (Mg) sowie Spuren an Silicium (Si), Eisen (Fe) und Kupfer (Cu; obere Kurve: "—●—")

[0029] Der Fig. 1 ist zu entnehmen, dass die in identischer Faserform eingesetzten, metallischen Abbrandmodifikatoren die Abbrandgeschwindigkeit erhöhen, wie es qualitativ als solches auch bei pulverförmigen, aber ansonsten identischen Abbrandmodifikatoren bekannt ist, wobei sich im Falle des als Oxidator eingesetzten ADN bei der faserförmigen Aluminium-/Magnesiumlegierung eine knappe Verdopplung der Abbrandgeschwindigkeit gegenüber der reinen Mischung aus GAP mit ADN ergibt (obere Kurve: "—●—"), während die Abbrandgeschwindigkeit bei faserförmigem Kupfer (zweitunterste Kurve: "—♦—") und bei faserförmigem Messing (zweitoberste Kurve: "—◄—") bei 7 bar um etwa 30% erhöht wird, im Falle der Messinglegierung bei zunehmendem Druck aber stärker ansteigt.

[0030] In der Fig. 2 wurde der Einfluss der Länge von ansonsten identischen Fasern aus einem metallischen Abbrandmodifikator in Form der Aluminium-/Magnesiumlegierung mit 93 Mass.-% Aluminium (Al) und 5 Mass.-% Magnesium (Mg) sowie Spuren an Silicium (Si), Eisen (Fe) und Kupfer (Cu), jeweils mit einem mittleren Faserquerschnitt von 90 pm, auf die Abbrandgeschwindigkeit des Festtreibstoffes untersucht, wobei die Schnitffasern mit einer mittleren Faserlänge von

- 0,5 mm, entsprechend einem Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von etwa 5,6 (untere Kurve: "—●—"),
- 1,0 mm, entsprechend einem Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von etwa 11,1 (mittlere Kurve: "—■—"), und
- 3,0 mm, entsprechend einem Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von etwa 33,3 (obere Kurve: "—▲—")

dem Festtreibstoff zugesetzt worden sind. Letzteres kann durch Eindispersieren der Schnitffasern in das GAP-Diolharz gemeinsam mit den ADN-Partikeln und/oder auch separat, vor oder nach dem Eindispersieren der ADN-Partikel geschehen.

[0031] Aus der Fig. 2 wird deutlich, dass die Fasergeometrie des Abbrandmodifikators einen signifikanten Einfluss auf die Abbrandgeschwindigkeit über den gesamten Druckbereich von 7 MPa bis 25 MPa besitzt, wobei die Abbrandgeschwindigkeit mit zunehmender Faserlänge bzw. mit zunehmendem Verhältnis von mittlerer Faserlänge zu mittlerem Faserquerschnitt zunehmend erhöht wird.

[0032] In der Fig. 3 wurden schließlich zur Veranschaulichung des Einflusses der Fasergeometrie von metallischen Abbrandmodifikatoren gegenüber partikel-

förmigen, aber ansonsten identischen Abbrandmodifikatoren des Festtreibstoffes auf die Abbrandgeschwindigkeit wiederum Festtreibstoffe aus 67 Mass.-% ADN, 30 Mass.-% GAP und einerseits 3 Mass.-% jeweils eines partikelförmigen Abbrandmodifikators mit einer mittleren Partikelgröße von 20 µm aus

- der Aluminium-/Magnesiumlegierung mit 93 Mass.-% Aluminium (Al) und 5 Mass.-% Magnesium (Mg) sowie Spuren an Silicium (Si), Eisen (Fe) und Kupfer (Cu; mittlere Kurve: "—◄—"), sowie aus
- im Wesentlichen reinem Aluminium (Al; untere Kurve: "—◆—")

in der obigen Weise hergestellt. In der Fig. 3 ist erkennbar, dass die Abbrandgeschwindigkeit des Festtreibstoffes im Falle von pulver- bzw. partikelförmigem Aluminium als Abbrandmodifikator mit der pulver- bzw. partikelförmigen Aluminium-/ Magnesiumlegierung vergleichbar ist, wobei sie bei geringen Drücken im Bereich von 7 MPa im Falle von Aluminium etwas geringer ist als im Falle der Aluminium-/Magnesiumlegierung, bei höheren Drücken ab etwa 25 MPa aufgrund stärkeren Anstieges bei zunehmendem Druck im Falle von Aluminium aber weitgehend identisch ist.

[0033] Andererseits wurde in der obigen Weise ein Festtreibstoff aus wiederum 67 Mass.-% ADN, 30 Mass.-% GAP und 3 Mass.-% eines Abbrandmodifikators aus derselben Aluminium-/Magnesiumlegierung hergestellt, wie sie gemäß der mittleren Kurve der Fig. 3 ("—◄—") in Partikelform eingesetzt worden ist, wobei der Abbrandmodifikator jedoch in Form von Schnitffasern mit einem mittleren Faserquerschnitt von 90 µm und einer mittleren Faserlänge von 1 mm, entsprechend einem Verhältnis der mittleren Faserlänge zum mittleren Faserquerschnitt von etwa 11,1, eingesetzt worden sind (obere Kurve der Fig. 3: "—●—").

[0034] In der Fig. 3 ist dabei erkennbar, dass die Abbrandgeschwindigkeit des Festtreibstoffes im Falle des faserförmigen Abbrandmodifikators gegenüber demselben Anteil an demselben partikelförmigen Abbrandmodifikator über den gesamten Druckbereich von hier 7 MPa bis 25 MPa kant - hier etwa auf das Doppelte - erhöht wird, und dies bereits bei einem relativ kleinen Verhältnis von mittlerer Faserlänge zu mittlerem Faserquerschnitt von etwa 11,1.

[0035] Folglich lässt sich bei dem erfindungsgemäßen Festtreibstoff der Anteil an (halb)metallischem Abbrandmodifikator rein aufgrund der Geometrie seiner Faserform gegenüber partikelförmigen Abbrandmodifikatoren des Standes der Technik erheblich verringern, was mit einer entsprechenden Gewichtseinsparung sowie mit einer Verringerung der festen Verbrennungsrückstände einhergeht, oder es kann bei einem entsprechendem Anteil an faserförmigem Abbrandmodifikator gegenüber demselben partikelförmigen Abbrandmodifikator des Standes der Technik eine erheblich höhere Abbrandge-

schwindigkeit erreicht werden, wie sie andernfalls mit einem gattungsgemäßen Festtreibstoff gemäß dem Stand der Technik gar nicht erzielbar wäre. Eine deutliche Erhöhung der Abbrandgeschwindigkeit des Festtreibstoffes ergibt sich dabei bereits bei einem Verhältnis von mittlerer Faserlänge zu mittlerem Faserquerschnitt bzw. -durchmesser von etwa 5:1, wobei die Abbrandgeschwindigkeit mit zunehmendem Verhältnis von mittlerer Faserlänge zu mittlerem Faserquerschnitt bzw. mit zunehmender Faserlänge ansteigt.

[0036] In der Fig. 4 ist schließlich eine REM-Aufnahme der faserförmigen Aluminium-/Magnesiumlegierung gezeigt, wie sie in den obigen Fig. 1 bis 3 zum Einsatz gelangt ist, wobei die Schnitffasern eine etwa rechteckig/ovale Querschnittsform besitzen, grundsätzlich aber auch einen beliebigen anderen Querschnitt besitzen, z.B. etwa rund etc. sein können.

20 Patentansprüche

1. Festtreibstoff, enthaltend

- (a) wenigstens einen Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN);
- (b) wenigstens einen energetischen Binder aus der Gruppe der Glycidyl-Azidpolymere (GAP), der Poly(3,3-bis-azidomethyl-oxetane) (poly-BAMO), der Poly(glycidyl)-nitrate (poly-GLYN), der Poly(3-nitratomethyl-3-methyl-oxetane) (poly-NIMMO) und der Poly(3-acidomethyl-3-methyl-oxetane) (poly-AMMO) einschließlich deren Derivaten und Mischungen; und
- (c) wenigstens einen Abbrandmodifikator aus der Gruppe der Metalle und Halbmetalle einschließlich deren Legierungen und Hydriden,

dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Abbrandmodifikator in Form von Fasern vorliegt.

2. Festtreibstoff nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators

- ein Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von wenigstens 5:1, insbesondere von wenigstens 10:1, vorzugsweise von wenigstens 15:1; und/oder
- ein Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von höchstens 600:1, insbesondere von höchstens 550:1, vorzugsweise von höchstens 500:1,

aufweisen.

3. Festtreibstoff nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators

- einen mittleren Querschnitt von höchstens 200 pm, insbesondere von höchstens 170 pm, vorzugsweise von höchstens 140 pm; und/oder
- einen mittleren Querschnitt von mindestens 1 pm, insbesondere von mindestens 5 pm, vorzugsweise von mindestens 10 pm; und/oder
- eine mittlere Länge von wenigstens 250 pm, insbesondere von wenigstens 500 pm, vorzugsweise von wenigstens 750 pm; und/oder
- eine mittlere Länge von höchstens 10 mm, insbesondere von höchstens 7,5 mm, vorzugsweise von höchstens 5 mm,

aufweisen.

4. Festtreibstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators in Form loser Schnitffasern oder in Form eines textilen Flächen- oder Raumgebildes, insbesondere aus der Gruppe Vlies, Gewirke, Gelege, Gestricke oder Gewebe, in der Bindermatrix vorliegen.

5. Festtreibstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass er**

(a)

- wenigstens 40 Mass.-%, insbesondere wenigstens 50 Mass.-%, und/oder
- höchstens 90 Mass.-%, insbesondere höchstens 80 Mass.-%,

des wenigstens einen Oxidators in Form von Ammoniumdinitramid (ADN);

(b)

- wenigstens 5 Mass.-%, insbesondere wenigstens 10 Mass.-%, und/oder
- höchstens 40 Mass.-%, insbesondere höchstens 30 Mass.-%,

des wenigstens einen energetischen Binders; und

(c)

- wenigstens 0,5 Mass.-%, insbesondere wenigstens 1 Mass.-%, und/oder
- höchstens 12,5 Mass.-%, insbesondere höchstens 10 Mass.-%,

des wenigstens einen in Form von Fasern vorliegenden Abbrandmodifikators,

jeweils bezogen auf die Masse des gesamten Festtreibstoffes, enthält.

6. Festtreibstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** er wenigstens einen

Abbrandmodifikator aus der Gruppe Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Kupfer (Cu), Zink (Zn) einschließlich deren Legierungen und Hydriden enthält.

7. Festtreibstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) in Pulver- oder Partikelform in die Bindermatrix eindispersiert ist.

8. Festtreibstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** er ferner

- wenigstens ein energetisches Plastifizierungsmittel, insbesondere aus der Gruppe der Alkyl-nitrat-ethyl-nitramine (NENA), der Ethylenglycoldinitrate (EGDN), der Metrioltrinitrate (MTN), der Butan-1,2,4-trioltrinitrate (BTTN), der Di-nitrodiazaalkane (DNDA), der Trimethylolethan-Trinitrate (TMETN), der Ethylenglycol-bis-(azidoacetate) (EGBAA) und der 1,2-Bis-(2-azidoethoxy)ethane (TEGDA) einschließlich deren Derivaten und Mischungen, und/oder
- wenigstens einen weiteren Oxidator, insbesondere aus der Gruppe Ammoniumnitrat (AN), Ammoniumperchlorat (AP), Kaliumdinitramid (KDN), Kaliumnitrat (KN) und Hydroxylammoniumnitrat (HAN),

enthält.

9. Verfahren zur Herstellung eines Festtreibstoffes nach einem der Ansprüche 1 bis 8, umfassend die folgenden Schritte:

- (a) Bereitstellen wenigstens eines Oxidators in Form von Ammoniumdinitramid (ADN);
- (b) Bereitstellen einer zu einem energetischen Binder aus der Gruppe der Glycidyl-Azidpolymere (GAP), der Poly(3,3-bis-azidomethyl-oxetane) (poly-BAMO), der Poly(glycidyl)-nitrate (poly-GLYN), der Poly(3-nitratomethyl-3-methyl-oxetane) (poly-NIMMO) und der Poly(3-azidomethyl-3-methyl-oxetane) (poly-AMMO) einschließlich deren Derivaten und Mischungen aushärtbaren, flüssigen oder viskosen Reaktionsmischung;
- (c) Bereitstellen wenigstens eines Abbrandmodifikators aus der Gruppe der Metalle und Halbmetalle einschließlich deren Legierungen und Hydriden in Form von Fasern;
- (d) Eindispersieren des wenigstens einen Oxidators in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) in Pulver- oder Partikelform in die zu dem energetischen Binder aushärtbare, flüssige oder viskose Reaktionsmischung;

- (e)
- Eindispersieren der Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators in Form loser Schnitffasern in die mit dem wenigstens einen Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) versetzte, zu dem energetischen Binder aushärtbare, flüssige oder viskose Reaktionsmischung; oder
 - Imprägnieren der Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators in Form eines textilen Flächen- oder Raumgebildes, insbesondere aus der Gruppe Vlies, Gewirke, Gelege, Gestricke oder Gewebe, mit der mit dem wenigstens einen Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) versetzten, zu dem energetischen Binder aushärtbaren, flüssigen oder viskosen Reaktionsmischung; und
- (f) Aushärten der Reaktionsmischung zu dem energetischen Binder unter Erhalt des Festtreibstoffes.
- 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass** die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators gemäß Schritt (c) derart bereitgestellt werden, dass sie
- ein Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von wenigstens 5:1, insbesondere von wenigstens 10:1, vorzugsweise von wenigstens 15:1; und/oder
 - ein Verhältnis ihrer mittleren Länge zu ihrem mittleren Querschnitt von höchstens 600:1, insbesondere von höchstens 550:1, vorzugsweise von höchstens 500:1, aufweisen.
- 11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass** die Fasern des wenigstens einen Abbrandmodifikators gemäß Schritt (c) derart bereitgestellt werden, dass sie
- einen mittleren Querschnitt von höchstens 200 pm, insbesondere von höchstens 170 pm, vorzugsweise von höchstens 140 pm; und/oder
 - einen mittleren Querschnitt von mindestens 1 pm, insbesondere von mindestens 5 pm, vorzugsweise von mindestens 10 pm; und/oder
 - eine mittlere Länge von wenigstens 250 pm, insbesondere von wenigstens 500 pm, vorzugsweise von wenigstens 750 pm; und/oder
 - eine mittlere Länge von höchstens 10 mm, insbesondere von höchstens 7,5 mm, vorzugsweise von höchstens 5 mm,
- aufweisen.
- 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass**
- (a) der wenigstens eine Oxidator in Form von Ammoniumdinitramid (ADN) gemäß Schritt (a) mit einem Anteil von
- wenigstens 40 Mass.-%, insbesondere wenigstens 50 Mass.-%, und/oder
 - höchstens 90 Mass.-%, insbesondere höchstens 80 Mass.-%;
- (b) der wenigstens eine energetische Binder gemäß Schritt (b) mit einem Anteil von
- wenigstens 5 Mass.-%, insbesondere wenigstens 10 Mass.-%, und/oder
 - höchstens 40 Mass.-%, insbesondere höchstens 30 Mass.-%; und
- (c) der wenigstens eine Abbrandmodifikator gemäß Schritt (c) mit einem Anteil von
- wenigstens 0,5 Mass.-%, insbesondere wenigstens 1 Mass.-%, und/oder
 - höchstens 12,5 Mass.-%, insbesondere höchstens 10 Mass.-%,
- jeweils bezogen auf die Masse des gesamten Festtreibstoffes, bereitgestellt wird.
- 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass** gemäß Schritt (c) wenigstens ein Abbrandmodifikator aus der Gruppe Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Kupfer (Cu), Zink (Zn) einschließlich deren Legierungen und Hydriden bereitgestellt wird.
- 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass** der zu dem energetischen Binder aushärtbaren Reaktionsmischung ferner
- wenigstens ein energetisches Plastifizierungsmittel, insbesondere aus der Gruppe der Alkyl-nitratoethylnitramine (NENA), der Ethylenglycoldinitrate (EGDN), der Metrioltrinitrate (MTN), der Butan-1,2,4-trioltrinitrate (BTTN), der Di-nitrodiazaalkane (DNDA), der Trimethylolethan-Trinitrate (TMETN), der Ethylenglycol-bis-(azidoacetate) (EGBAA) und der 1,2-Bis-(2azidoethoxy)ethane (TEGDA) einschließlich deren Derivaten und Mischungen, und/oder
 - wenigstens ein weiterer Oxidator in Pulver- oder Partikelform, insbesondere aus der Gruppe Ammoniumnitrat (AN), Ammoniumperchlorat (AP), Kaliumdinitramid (KDN), Kaliumnitrat (KN)

und Hydroxylammoniumnitrat (HAN),
zuge setzt wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

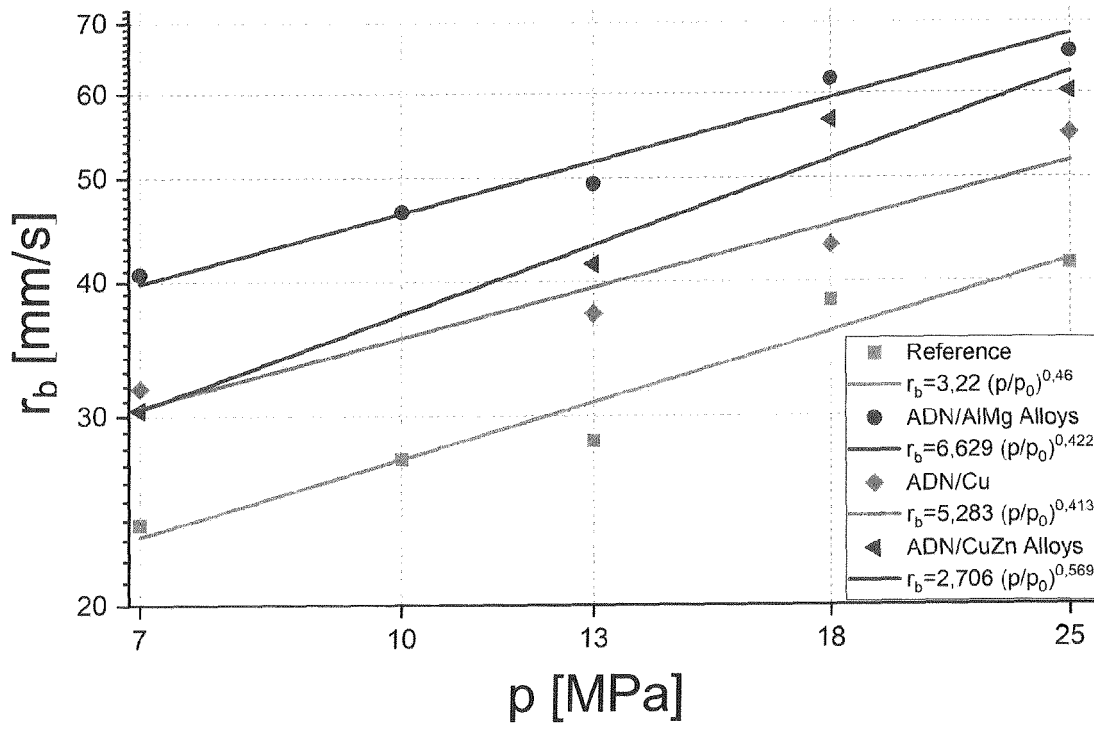


Fig. 1

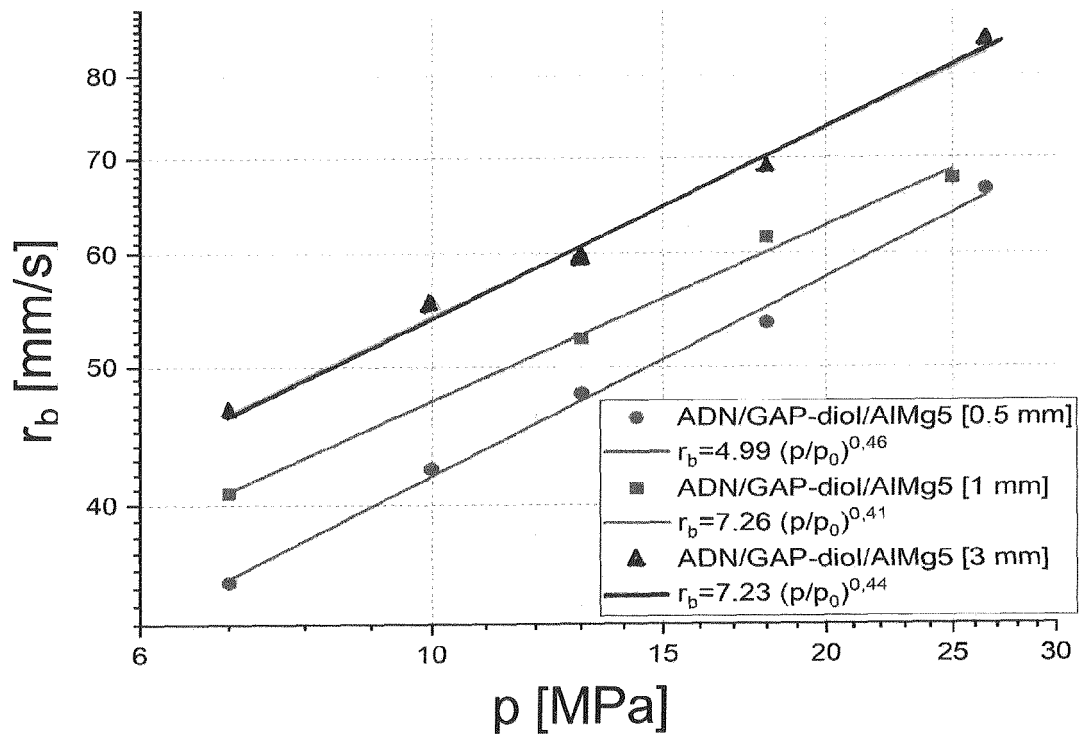


Fig. 2

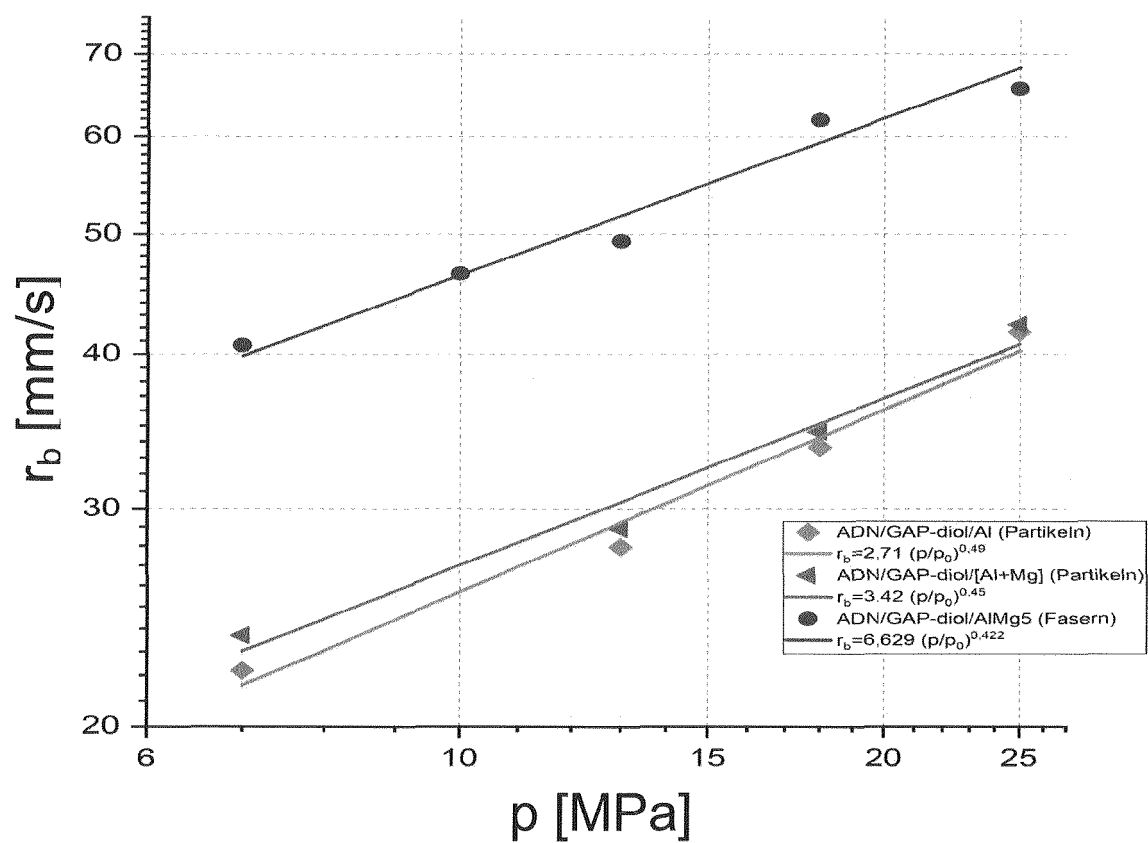


Fig. 3

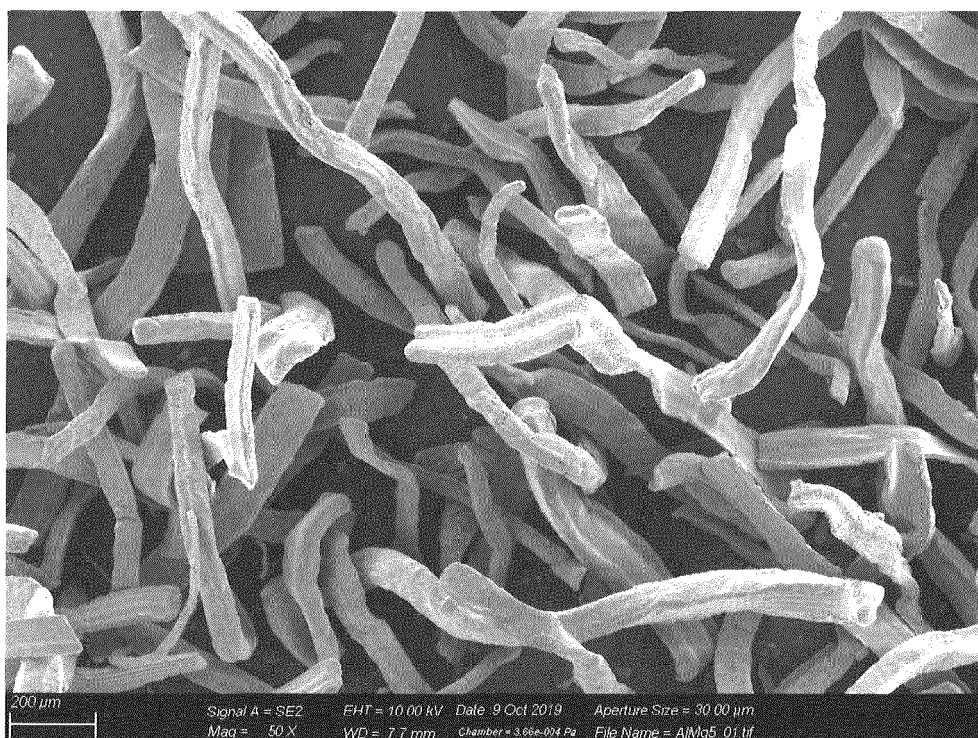


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 21 18 0751

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	CN 109 206 287 A (HUBEI INST AEROSPACE CHEMOTECHNOLOGY) 15. Januar 2019 (2019-01-15) * Beispiel 5 *	1-14	INV. C06B23/00 C06B45/10 C06D5/06
Y	US 6 872 266 B1 (CIARAMITARO DAVID [US]) 29. März 2005 (2005-03-29) * Tabelle 1 *	1-14	
Y	BADGUJAR D M ET AL: "New directions in the area of modern energetic polymers: An overview", COMBUSTION, EXPLOSION AND SHOCK WAVES, PLENUM PUBLISHING CO, US, Bd. 53, Nr. 4, 31. August 2017 (2017-08-31), Seiten 371-387, XP036308894, ISSN: 0010-5082, DOI: 10.1134/S0010508217040013 [gefunden am 2017-08-31] * Tabelle 2 *	1-7, 9-13	
A		8, 14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Y	GB 2 504 050 A (THIOKOL CORP [US]) 22. Januar 2014 (2014-01-22) * Ansprüche 17-19 *	1-14	C06B C06D
Y	US 8 986 473 B1 (KELLEY JOHN M [US] ET AL) 24. März 2015 (2015-03-24) * Spalte 4, Zeile 52 - Spalte 5, Zeile 2 *	1-14	
Y	CA 2 322 096 A1 (CESARONI ANTHONY JOSEPH [CA]) 8. Mai 2001 (2001-05-08) * Seite 9, Zeile 27 - Zeile 28 *	1-14	
1 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 9. Dezember 2021	Prüfer Kappen, Sascha
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 18 0751

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

09-12-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	CN 109206287 A	15-01-2019	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
15	US 6872266 B1	29-03-2005	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
	GB 2504050 A	22-01-2014	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
	US 8986473 B1	24-03-2015	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
20	CA 2322096 A1	08-05-2001	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5498303 A [0004]
- US 20050115651 A1 [0004]
- RU 2516711 C [0004]
- RU 2582712 C [0004]
- US 20180179119 A1 [0005]