

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 1 130 008 A2**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**05.09.2001 Patentblatt 2001/36**

(51) Int Cl.7: **C06B 21/00, C06D 5/06**

(21) Anmeldenummer: **01104470.8**

(22) Anmeldetag: **28.02.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(30) Priorität: **01.03.2000 DE 10009819**

(71) Anmelder: **TRW Airbag Systems GmbH & Co. KG  
84544 Aschau am Inn (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Zeuner, Siegfried, Dr.  
81369 München (DE)**

- **Hofmann, Achim, Dr.  
84570 Polling (DE)**
- **Schropp, Roland, Dr.  
93105 Tegernheim (DE)**
- **Rödiger, Karl-Heinz  
84559 Kraiburg (DE)**

(74) Vertreter: **Sulzbach, Werner, Dipl.-Chem. Dr.  
Prinz & Partner GbR,  
Manzingerweg 7  
81241 München (DE)**

(54) **Verfahren zur Herstellung von dichten Treibstoff-Formlingen**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von dichten Treibstoff-Formlingen zur Verwendung in Gasgeneratoren für Sicherheitseinrichtungen in Kraftfahrzeugen durch Extrusion, welches die folgenden Schritte umfaßt: Vermischen der Bestandteile des Treibstoffs und Anteigen der Mischung mit einem Lösungsmittel unter Bildung einer plastifizierbaren Masse; Extrusion der plastifizierbaren Masse zur Bildung von Treibstoff-Formlingen; und Trocknen der Treibstoff-

Formlinge zur Entfernung des Lösungsmittels, wobei dem Lösungsmittel vor dem Anteigen ein die Viskosität erhöhendes Verdickungsmittel zugesetzt wird, in einem Anteil von 0,1 bis 10 Gew.-%, bezogen auf das Lösungsmittel, und wobei die getrockneten Treibstoff-Formlinge eine Dichte von mindestens 70 % der theoretischen Dichte aufweisen. Die Erfindung betrifft außerdem die nach diesem Verfahren erhältlichen Treibstoff-Formlinge.

EP 1 130 008 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von dichten Treibstoff-Formlingen zur Verwendung in Gasgeneratoren für Sicherheitseinrichtungen in Kraftfahrzeugen durch Extrusion. Die Erfindung betrifft weiterhin einen dichten Treibstoff-Formling zur Verwendung in Gasgeneratoren für Sicherheitseinrichtungen in Kraftfahrzeugen, erhältlich durch ein Extrusionsverfahren gemäß der Erfindung.

**[0002]** Treibstoff-Formlinge, auch Pellets genannt, werden als gaserzeugendes Mittel in Gasgeneratoren von Sicherheitseinrichtungen in Kraftfahrzeugen eingesetzt. Der Vorteil des Extrudierverfahrens gegenüber dem Pressen von Pellets aus trockenen, fein gemahlten Rohstoffen liegt darin, daß es keiner Einschränkung bezüglich der Formgebung der Pellets unterliegt und damit eine gezielte Einstellung der Abbrandcharakteristik ermöglicht.

**[0003]** Bei der Extrusion muß allerdings im Hinblick auf die Gefährdung durch Selbstentzündung darauf geachtet werden, mit einer möglichst geringen thermischen und mechanischen Belastung den Treibstoff zu extrudieren.

**[0004]** Um Treibstoff-Formlinge durch Extrusion herzustellen, ist es notwendig, daß die extrudierte Masse eine gewisse Plastizität aufweist. In bisherigen Verfahren wird dazu der Treibstoff mit einem Lösungsmittel und zusätzlich mit einem Binder versetzt. Der Binderanteil liegt dabei selten unter 12 bis 15 %. Als Binder werden zumeist Polymere, Kohlenwasserstoffe oder Silikone eingesetzt, die eine sehr negative Sauerstoffbilanz aufweisen. Dies macht es erforderlich, den Oxidatoranteil in der Masse zu erhöhen. Es ist auch bekannt, anorganische Binder wie Bentonite zu verwenden, was jedoch zu einer starken Reduktion der Abbrandgeschwindigkeit führt.

**[0005]** Bei der Extrusion dieser binderhaltigen plastifizierbaren Massen können verschiedene Probleme auftreten. Es kann beispielsweise zu einer Inhomogenität der Suspension kommen, die durch eine inhomogene Verteilung der Binderpartikel und des Lösungsmittels verursacht wird, so daß sich eine nicht eindeutige Druck/Volumenstrom-Korrelation ergibt. Dies führt dazu, daß der Extrusionsdruck entsprechend der Feststoffkonzentration oszilliert.

**[0006]** Infolge eines Druckabfalls über der Extrusionskapillare ist auch ein überproportionaler Flüssigkeitsstrom durch die Kapillare möglich, was zu einer Entwässerung der Extrusionsmasse und damit zu einem Ansteigen des Extrusionsdrucks führt.

**[0007]** Aufgrund des Extrusionsdrucks kann außerdem ein gewisser Flüssigkeitsanteil in Mikroporen zwischen den Treibstoff- und den Binderpartikeln gepreßt werden. Wegen der Verminderung der frei beweglichen Flüssigkeitsmenge wird dann die Masse steifer und der Extrusionsdruck nimmt weiter zu.

**[0008]** Schließlich kann es zu Oberflächenschäden

aufgrund der Verhärtung wandnaher Zonen der Extrusionsmasse kommen. Dieser Effekt tritt vor allem auf, wenn aushärtende Binder verwendet werden.

**[0009]** Das Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Extrusion von dichten Treibstoff-Formlingen vorzustellen, das die oben beschriebenen Nachteile vermeidet. Dies wird durch ein Verfahren erreicht, welches die folgenden Schritte umfaßt:

5 Vermischen der Bestandteile des Treibstoffs und Anteigen der Mischung mit einem Lösungsmittel unter Bildung einer plastifizierbaren Masse;

10 Extrudieren der plastifizierbaren Masse zur Bildung von Treibstoff-Formlingen ; und

15 Trocknen der Treibstoff-Formlinge zur Entfernung des Lösungsmittels;

20 wobei dem Lösungsmittel vor dem Anteigen ein die Viskosität erhöhendes Verdickungsmittel in einem Anteil von 0,1 bis 10 Gew.-%, bezogen auf das Lösungsmittel, zugesetzt wird und die getrockneten Treibstoff-Formlinge eine Dichte von mindestens 70 % der theoretischen Dichte aufweisen.

25 **[0010]** Die Treibstoffkomponenten werden in diesem viskosen Lösungsmittel vorzugsweise unter Verwendung eines Planetenmischers oder Kneters aufgeschlämmt, wodurch eine plastifizierbare Masse entsteht. Es kann also vollständig auf Binder verzichtet werden. Da das Lösungsmittel selbst eine durch den Zusatz des Verdickungsmittels erhöhte Viskosität aufweist, wird der oben beschriebene Entwässerungseffekt verringert. Aus dem gleichen Grund dringt weniger Lösungsmittel in Poren zwischen den Treibstoffpartikeln ein, außerdem wird die Zahl der Poren dadurch verringert, daß kein partikelförmiger Binder zugesetzt wird.

30 **[0011]** Vorteilhafterweise wird das Lösungsmittel in einem Anteil von 5 bis 50 Gew.-%, bezogen auf den Treibstoff, eingesetzt. Besonders bevorzugt beträgt der Lösungsmittelanteil 10 bis 30 Gew.-%, bezogen auf den Treibstoff. Bei diesen Mengenverhältnissen ergibt sich eine gut extrudierbare Masse.

35 **[0012]** Das Verdickungsmittel wird bevorzugt in einem Anteil von 1 bis 5 Gew.-%, bezogen auf das Lösungsmittel, eingesetzt. Die Menge der zugesetzten Verdickungsmittel liegt damit im allgemeinen weit unter der Menge des Binders bei anderen extrudierten Treibstoffen. Dadurch wird die Rezeptur des Treibstoffes und damit seine Abbrandeigenschaft, seine Sauerstoffbilanz und seine Stabilität nur sehr wenig verändert.

40 **[0013]** In einer bevorzugten Zusammensetzung ist der Anteil des Verdickungsmittels in dem Treibstoff nach der Entfernung des Lösungsmittels kleiner als 3 Gew.-%. Da das Lösungsmittel nach dem Extrusionsvorgang beim Trocknen der Treibstoff-Formlinge nahezu vollständig aus diesen verdunstet, beeinflusst das Lösungsmittel die Rezeptur des Treibstoffes kaum. Der geringe

Anteil an Verdickungsmittel, der weit unter der im allgemeinen beim Einsatz von Bindern verwendeten Menge liegt, sorgt dafür, daß die Rezeptur des Treibstoffes nur unwesentlich verändert wird.

**[0014]** Da zum Extrudieren der Treibstoffmischung möglichst wenig Lösungsmittel eingesetzt und auch die Menge des Verdickungsmittels gering gehalten werden soll, ist es wichtig, daß das Lösungsmittel vor dem Anteigen der Treibstoffmischung mit dem Verdickungsmittel versetzt wird. Das Verdickungsmittel wird also in einem vorbereitenden Verfahrensschritt zu dem Lösungsmittel zugegeben, um ein Gemisch mit einer hohen Viskosität herzustellen. Vorzugsweise tritt in diesem Verfahrensschritt eine Gelbildung bzw. eine Vernetzung zwischen dem Lösungsmittel und dem Verdickungsmittel ein. In dieses Gemisch aus Lösungsmittel und Verdickungsmittel werden dann die Treibstoffmischung oder die Einzelkomponenten des Treibstoffs eingetragen, vorzugsweise unter Verwendung eines Planetenmischers oder Kneters.

**[0015]** Eine Zugabe des trockenen Verdickungsmittels zu der Treibstoffmischung und anschließendes Anteigen mit dem Lösungsmittel würde hingegen dazu führen, daß das Lösungsmittel nur an der Oberfläche der sehr feinen Treibstoffkomponenten absorbiert wird. Das ohnehin nur in geringer Konzentration vorhandene Verdickungsmittel könnte dann keine Viskositätsänderung bewirken.

**[0016]** Das Verdickungsmittel soll eine wesentliche Erhöhung der Viskosität des Lösungsmittels bewirken, damit der oben beschriebene Entwässerungseffekt während der Extrusion verhindert und die Menge des einzusetzenden Verdickungsmittels gering gehalten werden kann. Geeignete Verdickungsmittel weisen vorzugsweise eine Viskosität von mindestens 1000 mPas auf, gemessen nach Brookfield (Spindel Nr. 3; 20 U/min; Raumtemperatur) für eine 1%ige Lösung in dem jeweiligen Lösungsmittel. Das Gemisch aus Lösungsmittel und Verdickungsmittel hat unter den Verarbeitungsbedingungen vorzugsweise eine Viskosität (nach Brookfield) von mindestens 10.000 mPas.

**[0017]** Bevorzugt wird das Verdickungsmittel aus der aus den natürlichen organischen Verdickungsmitteln, den modifizierten organischen Verdickungsmitteln sowie den vollsynthetischen organischen Verdickungsmitteln bestehenden Gruppe ausgewählt. Besonders bevorzugt werden die natürlichen organischen Verdickungsmittel aus der aus Alginaten, Agar Agar, Arabicum, Carraghen, Casein, Dextrinen, Furcellaran, Gelatine, Ghatti, Guarkernmehl, Johannisbrotkernmehl, Karaya, Konjak, Pektinen, Pfeilwurzelstärke, Polyosen, Tamarindenmehl, Tarakernmehl, Traganth und Xanthan bestehenden Gruppe eingesetzt. Dies sind leicht erhältliche und ohne schädliche Umwelteinflüsse abbrennende Stoffe.

**[0018]** Ebenfalls bevorzugt eingesetzt werden die modifizierten organischen Verdickungsmittel aus der aus Carboxymethylcellulose, Celluloseether, Hydroxye-

thylcellulose, Hydroxypropylcellulose und Kernmehlether bestehenden Gruppe ausgewählt. Besonders bevorzugt wird die Verwendung von Hydroxyethylcellulose. Auch diese Stoffe sind leicht erhältlich, gut verarbeitbar und erzeugen beim Abbrand keine für den Menschen schädlichen Substanzen.

**[0019]** Die vollsynthetischen organischen Verdickungsmittel werden bevorzugt aus der aus Polyacrylverbindungen, Polymethacrylverbindungen, Vinylpolymeren, Polycarbonsäuren, Polyethern, Polyimininen und Polyamiden bestehenden Gruppe ausgewählt.

**[0020]** Bevorzugt wird das Lösungsmittel aus der aus Wasser, Alkoholen, Ethern, Aldehyden, Ketonen, Carbonsäuren, Carbonsäureestern, Carbonsäureamiden, Aminen und Ammoniak sowie deren Mischungen bestehenden Gruppe ausgewählt. Mit diesen weitgehend rückstandslos verdunstenden Stoffen lassen sich im Zusammenhang mit den oben genannten bevorzugten Verdickungsmitteln extrudierbare Massen gemäß der Erfindung herstellen.

**[0021]** Besonders bevorzugt wird als Lösungsmittel Wasser, (Ethyl-)Alkohol oder ein Wasser-Alkohol-Gemisch eingesetzt. Ganz besonders bevorzugt wird als Lösungsmittel Wasser verwendet. Diese Lösungsmittel sind preisgünstig, unschädlich und einfach zu verarbeiten.

**[0022]** Vorteilhafterweise ist der Treibstoff ein Gemisch aus Guanidinnitrat, Kupferoxid (CuO), basischem Kupferniträt, Ammoniumperchlorat (APC), Natriumnitrat und Eisenoxid (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Zusammen mit einem der oben genannten Verdickungsmittel, besonders bevorzugt mit Hydroxyethylcellulose und dem Zusatz von Wasser, läßt sich eine plastifizierbare Masse herstellen, aus der Treibstoff-Formlinge extrudiert werden können.

**[0023]** Die erfindungsgemäß extrudierten und nach der Extrusion getrockneten Treibstoff-Formlinge weisen eine Dichte von mindestens 70 %, vorzugsweise mindestens 80 %, der theoretischen Dichte, d. h. der üblicherweise beim trockenen Verpressen der gemahlenden Treibstoffkomponenten erzielten Dichte, auf. Das Abbrandverhalten der so erhaltenen dichten Formlinge ist somit wesentlich besser reproduzierbar als das Abbrandverhalten poröser Extrudate.

**[0024]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung gehen aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels hervor.

#### Beispiel:

**[0025]** Eine Treibstoffmischung aus 45,57 Teilen Guanidinnitrat, 12,65 Teilen Kupferoxid, 24,48 Teilen basischem Kupferniträt, 4,11 Teilen Ammoniumperchlorat, 3,01 Teilen Natriumnitrat und 9,69 Teilen Eisenoxid (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) wurde mit 24 Teilen einer 2%igen Lösung von Hydroxyethylcellulose (MG: 1.500.000) in Wasser angeigeigt.

**[0026]** Die verwendete Hydroxyethylcellulose hatte eine Viskosität von 3.500 bis 5.500 mPas, gemessen

nach Brookfield (Spindel Nr. 3; 20 U/min; bei Raumtemperatur) für eine 1%ige Lösung in Wasser.

**[0027]** Das Anteigen der Mischung erfolgte in einem Planetenmischer durch Eintragen der Treibstoffmischung in die Hydroxyethylcellulose-Lösung unter Bildung einer plastifizierbaren Masse. Diese Masse wurde in einem Einschnellenextruder mit 19 mm Durchmesser extrudiert. Dabei wurden Rundstrangdüsen von 4 mm Durchmesser und einer Drehzahl von 20 Umdrehungen/Minute bei einem Druck von 30 bar eingesetzt. Anschließend erfolgte eine Trocknung der Treibstoff-Formlinge.

**[0028]** Zur Herstellung von Einloch-Formlingen kann die Extrusion der Treibstoffmischung auch unter Verwendung einer Rohrdüse mit einem Durchmesser von 5/1 mm bei 60 U/min und einem Druck von etwa 50 bar erfolgen.

**[0029]** Die Dichte des so extrudierten und getrockneten Treibstoffes liegt mit 1,86 g/cm<sup>3</sup> um ca. 10% niedriger als beim trockenen Verpressen des gemahlene Satzes, entsprechend einer Dichte von etwa 90 % der theoretischen Dichte.

**[0030]** Die gleiche Treibstoffmischung mit Wasser versetzt, ohne den Zusatz von Hydroxyethylcellulose, zeigt keine Plastizität. Diese mit reinem Wasser angesetzte Masse zeigt das oben beschriebene Phänomen des Entwässerns und läßt sich nicht extrudieren.

**[0031]** Außerdem hat sich gezeigt, daß durch die Zugabe des Verdickungsmittel zu dem Lösungsmittel die zum Anteigen benötigte Lösungsmittelmenge deutlich reduziert werden kann. Im oben genannten Beispiel ergibt sich eine optisch vergleichbare, aber nicht extrudierbare plastische Masse erst bei der Zugabe von ca. 29 Gew.-% der Treibstoffmasse an reinem Wasser, im Vergleich mit 24% der Wasser-Hydroxyethylcellulose-Lösung.

**[0032]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist nicht auf die Anwendung mit der vorgenannten Treibstoffzusammensetzung beschränkt. Vielmehr ist mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens nahezu jede beliebige Treibstoffzusammensetzung extrudierbar.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von dichten Treibstoff-Formlingen zur Verwendung in Gasgeneratoren für Sicherheitseinrichtungen in Kraftfahrzeugen durch Extrusion, welches die folgenden Schritte umfaßt:

Vermischen der Bestandteile des Treibstoffs und Anteigen der Mischung mit einem Lösungsmittel unter Bildung einer plastifizierbaren Masse;

Extrusion der plastifizierbaren Masse zur Bildung von Treibstoff-Formlingen; und

Trocknen der Treibstoff-Formlinge zur Entfernung des Lösungsmittels,

**dadurch gekennzeichnet**, daß dem Lösungsmittel vor dem Anteigen ein die Viskosität erhöhendes Verdickungsmittel zugesetzt wird, in einem Anteil von 0,1 bis 10 Gew.-%, bezogen auf das Lösungsmittel, und daß die getrockneten Treibstoff-Formlinge eine Dichte von mindestens 70 % der theoretischen Dichte aufweisen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Lösungsmittel in einem Anteil von 5 bis 50 Gew.-%, bezogen auf den Treibstoff, eingesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Lösungsmittel in einem Anteil von 10 bis 30 Gew.-%, bezogen auf den Treibstoff, eingesetzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verdickungsmittel in einem Anteil von 1 bis 5 Gew.-%, bezogen auf das Lösungsmittel, eingesetzt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Anteil des Verdickungsmittels in dem Treibstoff nach der Entfernung des Lösungsmittels kleiner als 3 Gew.-% ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verdickungsmittel eine Viskosität von mindestens 1000 mPas, gemessen nach Brookfield für eine 1%ige Lösung in dem Lösungsmittel, aufweist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verdickungsmittel aus der aus den natürlichen organischen Verdickungsmitteln, den modifizierten organischen Verdickungsmitteln, den vollsynthetischen organischen Verdickungsmitteln und den natürlichen anorganischen Verdickungsmitteln bestehenden Gruppe ausgewählt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die natürlichen organischen Verdickungsmittel aus der aus Alginaten, Agar Agar, Arabicum, Carraghen, Casein, Dextrinen, Furcellaran, Gelatine, Ghatti, Guarkernmehl, Johannisbrotkernmehl, Karaya, Konjak, Pektinen, Pfeilwurzelsstärke, Polyosen, Tamarindenmehl, Tarakernmehl, Tragant und Xanthan bestehenden Gruppe ausgewählt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die modifizierten organischen Ver-

- dickungsmittel aus der aus Carboxymethylcellulose, Celluloseether, Hydroxyethylcellulose, Hydroxypropylcellulose und Kernmehlether bestehenden Gruppe ausgewählt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die vollsynthetischen organischen Verdickungsmittel aus der aus Polyacrylverbindungen, Polymethacrylverbindungen, Vinylpolymeren, Polycarbonsäuren, Polyether, Polyimine und Polyamide bestehenden Gruppe ausgewählt werden. 5
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verdickungsmittel Hydroxyethylcellulose ist. 10
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Lösungsmittel aus der aus Wasser, Alkoholen, Ethern, Aldehyden, Ketonen, Carbonsäuren, Carbonsäureestern, Carbonsäureamiden, Aminen und Ammoniak sowie deren Mischungen bestehenden Gruppe ausgewählt wird. 15
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Lösungsmittel Wasser, (Ethyl-) Alkohol oder ein Wasser-Alkohol-Gemisch eingesetzt wird. 20
14. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Lösungsmittel Wasser verwendet wird. 25
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Treibstoff ein Gemisch aus Guanidinnitrat, Kupferoxid (CuO), basischem Kupfernitrat, Ammoniumperchlorat (APC), Natriumnitrat und Eisenoxid (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ist. 30
16. Treibstoff-Formling zur Verwendung in Gasgeneratoren für Sicherheitseinrichtungen in Kraftfahrzeugen, erhältlich durch ein Extrusionsverfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Gehalt an Verdickungsmittel kleiner als 3 Gew.-%, bezogen auf die Treibstoffmenge und einer Dichte von mindestens 70 % der theoretischen Dichte. 35
17. Treibstoff-Formling nach Anspruch 16, gekennzeichnet durch einen Gehalt an Verdickungsmittel von höchstens 1 Gew.-%, bezogen auf die Treibstoffmenge. 40
18. Treibstoff-Formling nach Anspruch 16, gekennzeichnet durch einen Gehalt an Verdickungsmittel von höchstens 0,5 Gew.-%, bezogen auf die Treibstoffmenge. 45
19. Treibstoff-Formling nach einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Treibstoff eine Guanidinverbindung enthält, die vorzugsweise aus der aus Guanidincarbonat, Guanidinnitrat, Guanidinperchlorat, Aminoguanidinnitrat, Diaminoguanidinnitrat, Triaminoguanidinnitrat, Nitroguanidin oder deren Mischungen bestehenden Gruppe ausgewählt ist. 50
20. Treibstoff-Formling nach einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Treibstoff einen Brennstoff mit einer Bildungsenthalpie von kleiner als -3.35 kJ/g und einer Sauerstoffbilanz von größer als -90% enthält, wobei der Brennstoff vorzugsweise aus der aus Cyanursäure, Harnstoff, Oxamid, Urazol, Dialursäure, Biurea, Alloxan, Alloxantin, Parabensäure und deren Mischungen bestehenden Gruppe ausgewählt ist. 55