
Verfahren und System zum Bereitstellen einer
vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zum Bereitstellen einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe insbesondere von wenigstens 0,5 J.

Bei gattungsgemäßen pyrotechnischen Antrieben für pyrotechnische Trenneinrichtungen haben sich Explosivstoffe als vorteilhaft erwiesen, deren Umsetzungstemperaturen deutlich über 100 °C, insbesondere über 170 °C oder sogar über 300 °C, liegen. Eine temperaturbedingte Umsetzung der Explosivstoffe soll allerdings weiterhin bei unter 100 °C, insbesondere bei etwa 90 °C, erfolgen. Dies stellt die Funktionsfähigkeit des pyrotechnischen Antriebs über lange Zeiträume sicher und vermeidet Fehlaktivierungen. Fehlaktivierungen sind im Allgemeinen auf Alterungseffekte des Explosivstoffes zurückzuführen, die umso schneller eintreten, je näher die Umsetzungstemperatur des Explosivstoffes an den zu erwartenden Lager- und/oder Einsatztemperaturen liegt. Ferner führen Alterungseffekte der Explosivstoffe auch sehr oft zu einer starken Verringerung der Wirkung oder sogar zu einem Totalausfall des pyrotechnischen Antriebs.

Sogenannte Notabschaltmechanismen für Batterien, welche eine Überhitzung der Batterien vermeiden sollen, sind im Stand der Technik bekannt. Beispielsweise offenbart DE 20 2006 020 172 U1 einen Stromunterbrecher für Batteriekabel von Kraftfahrzeugen, der in der Polnische der Kraftfahrzeugbatterie oder einer Sicherungsbox im Leitungsnetz untergebracht wird. Der Stromunterbrecher umfasst zwei miteinander in Kontakt stehende elektrische Verbindungsabschnitte, die durch Umsetzen eines pyrotechnischen Materials voneinander entfernt werden können, um die elektrische Verbindung zu unterbrechen. Es hat sich als nachteilig erwiesen, dass die elektrischen Verbindungsabschnitte undefiniert und unkontrolliert voneinander entfernt werden. Ferner wurde als nachteilig an einem derartigen Stromunterbrecher erkannt, dass die beiden elektrischen Verbindungsabschnitte dazu tendieren, von sich aus wieder in Kontakt miteinander zu geraten, sodass die elektrische

Leitfähigkeit wiederhergestellt ist. Dies kann zu erheblichen Beschädigungen der an die Batterie gekoppelten Komponenten führen. Schließlich ist der Stromunterbrecher auch im Hinblick auf die Anbringung an einer elektrischen Stromquelle stark limitiert. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass ein derartiger Stromunterbrecher bei elektrischer Ansteuerung zu Fehlzündungen tendiert.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile aus dem bekannten Stand der Technik zu verbessern, insbesondere ein zuverlässiges und funktionssicheres Verfahren bzw. System zum Bereitstellen einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe bereitzustellen, bei dem Fehlzündungen vermieden sind und/oder eine kontrollierte Energieabgabe ermöglicht ist.

Die Aufgabe wird durch den Gegenstand von Anspruch 1, 11, 16 bzw. 29 gelöst.

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Bereitstellen einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe von vorzugsweise mindestens 0,5 J vorgesehen. Pyrotechnische Energieabgaben werden beispielsweise in pyrotechnischen Trenneinrichtungen, pyrotechnische Schalt- oder Wirkeinrichtungen eingesetzt, die dazu eingerichtet sind, eine zu einer elektrischen Energiequelle, wie einer Batterie, eine galvanische Zelle oder einem Akkumulator, zum Abführen und/oder Empfangen elektrischer Energie führenden elektrischen Leitung, wie ein Kabel, ein Draht, eine Leiterbahn, oder dergleichen, zu trennen, zu schneiden, zu durchstanzen, zu beschädigen oder dergleichen. Derartige pyrotechnische Trenneinrichtungen sind dazu ausgelegt, eine elektrische Ladekopplung zwischen einer elektrischen Energiequelle und einer elektrischen Energieversorgung bzw. einer elektrischen Endladekopplung zwischen einer vorzugsweise aufladbaren Energiequelle und einem elektrischen Verbraucher zu trennen. Beispielsweise soll mit der pyrotechnischen Trenneinrichtung verhindert werden, dass an Elektronikgeräten eine Überhitzung insbesondere der Batterien, wie Lithiumionen-Batterien, einhergeht, was zu einer Beschädigung des Elektronikgeräts führen kann. Derartige Batterien können eine Stromstärke von deutlich über 1 A, insbesondere in einem Bereich von 1 A bis 70 A, insbesondere in einem Bereich von 10 A bis 50 A, insbesondere in einem Bereich von 10 A bis 30 A oder einem Bereich von 30 A bis 50 A, oder in einem Bereich von 50 A bis 70 A, beispielsweise 45 A, 35 A oder 40 A, bereitstellen. Pyrotechnische Trenneinrichtungen können auch derart gestaltet sein, dass diese zum Trennen einer zu einem Träger für elektronische Bauteile, insbesondere Leiterplatte, Leiterkarte oder Platine, oder darin vorgesehenen elektrisch leitenden Leiterbahnen zum Abführen und/oder Empfangen elektrischer Energie eingesetzt werden können. Gattungsgemäße pyrotechnische Trenneinrichtungen sind aus der deutschen Anmeldung DE 10 2019 101 430.1 desselben Anmelders bekannt, dessen Inhalt, insbesondere in Bezug auf die Funktionsweise und den

Aufbau pyrotechnischer Trenneinrichtungen, hierin unter Bezugnahme vollständig integriert ist.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein pyrotechnisches Material bereitgestellt, das bei einer materialspezifischen Umsetztemperatur pyrotechnisch umgesetzt. Vorzugsweise werden pyrotechnische Materialien bereitgestellt, deren Umsetztemperaturen deutlich über 100°C, insbesondere über 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, oder sogar über 170°C, 200°C, 220°C oder über 250°C, insbesondere über 300°C liegen.

Beispielsweise wird das Kalium-Salz von 1,4-dihydro-5,7-dinitrobenzofurazan-4-ol 3-oxide (kurz: Kalium-Dinitrobenzofuroxanat, K-Benzanat, oder KDNBF), K/Ca 2,4,6-trinitrobenzene-1,3-bis(olate) (kurz: Kalium/Calcium-Styphnat, K/CaStyp) oder Blei-2,4,6-trinitroresorcinat (kurz: Bleitrizinat, Bleistypnat, Trizinat) als Bestandteil des pyrotechnischen Materials eingesetzt. Die genannten Stoffe können in Mischungen mit weiteren Komponenten verwendet werden. Der Schmelzpunkt bzw. Zersetzungspunkt beispielsweise von reinem KDNBF beträgt ca. 170°C. Bei Mischungen von KDNBF mit ausgewählten Komponenten lassen sich die Verpuffungstemperaturen im Bereich von 150°C bis 160°C steuern, und die Verpuffungstemperaturen der Mischungen können tiefer liegen als die der Einzelkomponenten. Weitere geeignete Materialien finden sich in der deutschen Veröffentlichungsschrift DE 102006060145 A1 der Anmelderin.

Des Weiteren können Primärexplosivstoffe einzeln oder in Kombination mit Zusatzstoffen zur Erreichung einer höheren Wirksamkeit eingesetzt werden. Als Beispiele seien genannt Diazodinitrophenol (kurz: Diazol, Dinol, oder DDNP), Salze der Styphinsäure (wie beispielsweise K/Ca 2,4,6-trinitrobenzene-1,3-bis(olate) (kurz: Kalium/Calcium-Styphnat, K/CaStyp) oder Blei-2,4,6-trinitroresorcinat (kurz: Bleitrizinat, Bleistypnat, Trizinat)), Tetrazen, Salze des Dinitrobenzofuroxanats, 1-(2,4,6-Trinitrophenyl)-5-(1-(2,4,6-trinitrophenyl)-1H-tetrazol-5-yl)-1 H-tetrazol (kurz: Pikrazol), oder N-Methyl-N-2,4,6-tetranitroanilin (kurz: Tetryl).

Als pyrotechnisches Material kann zum Beispiel K/Ca 2,4,6-trinitrobenzene-1,3-bis(olate) (kurz: Kalium/Calcium-Styphnat, K/CaStyp) eingesetzt werden. Weitere geeignete pyrotechnische Materialien sind beispielsweise in der Veröffentlichungsschrift EP 1 890 986 B1, welche auf die internationale Patentanmeldung WO 2006/128910 und die deutschen Patentanmeldungen DE 10 2005 025 746 und DE 10 2006 013 622 zurückgeht, beschrieben, welche unter Bezugnahme in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Erfindung miteinbezogen sein sollen.

Des Weiteren wird gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Umsetzen des pyrotechnischen Materials bei einer Umgebungstemperatur des pyrotechnischen Materials,

die kleiner als die Umsetztemperatur des pyrotechnischen Materials ist, Wärme an das pyrotechnische Material mitgeteilt. Bei vielen Anwendungen kommt es vor, dass eine temperaturbedingte Umsetzung des pyrotechnischen Materials bei unter 100°C, insbesondere bei etwa 90°C, erfolgen soll. Im Allgemeinen kommt das erfindungsgemäße Verfahren zum Tragen, wenn eine pyrotechnische Umsetzung zur Bereitstellung einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe bereits dann erfolgen soll, insbesondere bei einer Umgebungstemperatur des pyrotechnischen Materials erfolgen soll, wenn die Umsetztemperatur des pyrotechnischen Materials noch nicht erreicht ist, insbesondere wenn die Umgebungstemperatur noch kleiner als die pyrotechnische Umsetztemperatur ist. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es möglich, weiterhin die bewährten, bei hohen Umsetztemperaturen von insbesondere deutlich über 100°C umsetzenden Materialien einzusetzen, sodass die Funktionsfähigkeit eines pyrotechnischen Systems über lange Zeiträume sichergestellt ist und Fehlaktivierungen vermieden sind sowie eine zuverlässige und kontrollierte pyrotechnische Energieabgabe sichergestellt ist.

In einer beispielhaften Ausführung der vorliegenden Erfindung wird das pyrotechnische Material zum zumindest teilweisen Erreichen der materialspezifischen Umsetztemperatur erwärmt. Anders ausgedrückt, ist es möglich, dass das pyrotechnische Material nicht notwendigerweise derart erwärmt wird, dass eine Temperaturdifferenz zwischen Umsetztemperatur und Umgebungstemperatur vollständig überbrückt, insbesondere überschritten, wird.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das pyrotechnische Material derart erwärmt, dass eine Temperaturdifferenz zwischen Umsetztemperatur und Umgebungstemperatur vollständig überbrückt, insbesondere überschritten wird. Vorzugsweise wird das pyrotechnische Material derart erwärmt, dass die Umsetztemperatur um wenigstens 5°C, wenigstens 10°C, wenigstens 15°C, wenigstens 50°C, wenigstens 70°C oder um wenigstens 90°C, überschritten wird. Dadurch ist sichergestellt, dass die pyrotechnische Energieabgabe zuverlässig abgegeben wird. Darunter ist auch die beispielhafte Ausführung zu verstehen, dass das pyrotechnische Material lokal, punktuell und/oder bereichsweise erwärmt wird, sodass das pyrotechnische Material lokal, punktuell und/oder bereichsweise seine materialspezifische Umsetztemperatur erreicht. Das Erreichen der materialspezifischen Umsetztemperatur in dem erwärmten Bereich hat eine Art Kettenreaktion zur Folge, insbesondere insofern als in diesem Bereich bzw. lokal das pyrotechnische Material umgesetzt, was zur Folge hat, dass das restliche, bislang nicht erwärmte pyrotechnische Material ebenfalls erwärmt wird und zur Umsetzung gebracht wird.

Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführung der vorliegenden Erfindung wird die an das pyrotechnische Material mitgeteilte Wärme durch eine exotherme chemische Reaktion

generiert. Als exotherme chemische Reaktion wird im Allgemeinen eine Reaktion verstanden, die mehr Wärme produziert, als ihr zunächst als Aktivierungs- bzw. Auslöseenergie zugeführt wurde.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden ein Reaktionsstoff und ein Reaktionspartnerstoff wenigstens teilweise vermengt, vorzugsweise unter exothermer chemischer Reaktion, um die Wärme zu generieren. Beispielsweise werden der Reaktionsstoff und der Reaktionspartnerstoff so bereitgestellt, dass zum Umsetzen des pyrotechnischen Materials die beiden Stoffe miteinander vermengt werden, sodass unter einer exothermen chemischen Reaktion zwischen den beiden Stoffen Wärme generiert wird, die an das pyrotechnische Material mitgeteilt wird, sodass dieses zum zumindest teilweisen Erreichen der Umsetztemperatur erwärmt wird, insbesondere derart erwärmt wird, dass die Umsetztemperatur vollständig erreicht bzw. überschritten wird.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Reaktionsstoff aus einer Liste umfassend Glycerin (Propan-1,2,3-triol), Zink-Pulver, Ammoniumnitrat, Ammoniumchlorid und/oder Lithium-Aluminium-Hydrid (LiAlH_4) ausgewählt. Des Weiteren kann vorgesehen sein, dass der Reaktionspartnerstoff aus einer Liste umfassend Kaliumpermanganat (KMnO_4), Wasser und/oder Methanol (CH_3OH) ausgewählt wird. Als bevorzugte Kombinationen spezifischer Reaktionsstoffe und Reaktionspartnerstoffe haben sich Glycerin als Reaktionsstoff und Kaliumpermanganat als Reaktionspartnerstoff, Zink-Pulver und/oder Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) und/oder Ammoniumchlorid (NH_4Cl) als Reaktionsstoff in Kombination mit Wasser oder Methanol als Reaktionspartnerstoff sowie Lithium-Aluminium-Hydrid als Reaktionsstoff in Kombination mit Wasser als Reaktionspartnerstoff als vorteilhaft erwiesen.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zum Mitteilen der Wärme an das pyrotechnische Material eine den Reaktionsstoff und den Reaktionspartnerstoff voneinander trennende Abgrenzung, wie beispielsweise ein Trennwand, geschmolzen, zerbrochen, zerschnitten oder dergleichen. Beispielsweise können der Reaktionsstoff und der Reaktionspartnerstoff in einem gemeinsamen Gehäuse bereitgestellt sein und/oder von einer Abgrenzung voneinander getrennt sein. Die Abgrenzung kann hierbei einen Teil der Gehäusewandung, wie z.B. eine Beschichtung umfassen. Beispielsweise ist die Abgrenzung auch durch die Gehäusewandung umgeben. Ferner kann vorgesehen sein, dass einer der beiden Stoffe in dem Gehäuse angeordnet ist, während der jeweils andere Stoff das Gehäuse insbesondere vollständig umgibt.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Wärme dem pyrotechnischen Material dann mitgeteilt, wenn eine vorbestimmte Schwelle eines auf das pyrotechnische Material wirkenden kinetischen und/oder thermischen

Energieeintrags überschritten wird und beispielsweise kann vorgesehen sein, dass eine Energieeintragsschwelle in Bezug auf das pyrotechnische Material vorbestimmt wird. Über die Vorbestimmung der Energieeintragsschwelle lässt sich die Umsetzung des pyrotechnischen Materials indirekt steuern. Denn das Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragsschwelle kann als Bedingung bzw. Auslöseparameter für das Mitteilen der Wärme an das pyrotechnische Material verstanden werden. Anders ausgedrückt wird dem pyrotechnischen Material solange keine Wärme zugeführt, solange die vorbestimmte Energieeintragsschwelle unterschritten bleibt.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung ist die Energieeintragsschwelle durch eine Temperaturschwelle und/oder eine Beschleunigungskraftschwelle realisiert. Beispielsweise kann es sich bei der Temperaturschwelle um eine Schwelle für eine Umgebungstemperatur des pyrotechnischen Materials handeln. Des Weiteren kann die Energieeintragsschwelle auch durch eine Schwelle einer auf das pyrotechnische Material wirkenden Beschleunigungskraft, insbesondere Negativbeschleunigungskraft, realisiert sein.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung der vorliegenden Erfindung wird das Mitteilen der Wärme an das pyrotechnische Material elektrisch ausgelöst. Beispielsweise kann das elektrische Auslösen als redundante Auslösoption vorgesehen sein. Beispielsweise kann durch die elektrische Auslösung eine Temperatur eingestellt werden, die dafür verantwortlich ist, dass Wärme an das pyrotechnische Material mitgeteilt wird. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass die elektrische Auslösung bewirkt, dass ein Reaktionsstoff und ein Reaktionspartnerstoff vermengt werden. Beispielsweise kann dies dadurch realisiert sein, dass die elektrische Auslösung ein Zerschneiden und/oder Schmelzen einer den Reaktionsstoff von dem Reaktionspartnerstoff trennenden Abgrenzung bewirkt. Gemäß einer alternativen Ausführung kann vorgesehen sein, dass die elektrische Auslösung ein notwendiges Kriterium ist, damit Wärme an das pyrotechnische Material mitgeteilt wird.

Gemäß einem weiteren Aspekt, der mit den vorhergehenden Aspekten und beispielhaften Ausführungen kombinierbar ist, ist ein Verfahren zum Auslösen eines pyrotechnischen Antriebs bereitgestellt. Ein pyrotechnischer Antrieb kann beispielsweise in einer pyrotechnischen Trenneinrichtung eingesetzt werden, die dazu eingerichtet sein kann, eine zu einer elektrischen Energiequelle, wie einer Batterie oder einem Akkumulator, zum Abführen und/oder Empfangen elektrischer Energie führenden elektrischen Leitung, wie ein Kabel, ein Draht, eine Leiterbahn, oder dergleichen, zu trennen. Derartige pyrotechnische Trenneinrichtungen sind dazu ausgelegt, eine elektrische Ladekopplung zwischen einer elektrischen Energiequelle und einer elektrischen Energieversorgung bzw. einer elektrischen Endladekopplung zwischen einer vorzugsweise aufladbaren Energiequelle und einem elektrischen Verbraucher zu trennen. Beispielsweise soll mit der pyrotechnischen

Trenneinrichtung verhindert werden, dass an Elektronikgeräten eine Überhitzung insbesondere der Batterien, wie Lithiumionen-Batterien, einhergeht, was zu einer Beschädigung des Elektronikgeräts führen kann. Pyrotechnische Trenneinrichtungen können auch derart gestaltet sein, dass diese zum Trennen einer zu einem Träger für elektronische Bauteile, insbesondere Leiterplatte, Leiterkarte oder Platine, oder darin vorgesehenen elektrisch leitenden Leiterbahnen zum Abführen und/oder Empfangen elektrischer Energie eingesetzt werden können. Der pyrotechnische Antrieb kann derart eingestellt sein, dass er eine Kappmechanik der pyrotechnischen Trenneinrichtung zum Kappen der elektrischen Leitung betreibt. Der pyrotechnische Antrieb kann beispielsweise derart ausgelegt sein, dass die mechanische Arbeit zum Durchtrennen der elektrischen Leitung durch die Kappmechanik unter Ausnutzung des pyrotechnischen Effekts des pyrotechnischen Antriebs erfolgt. Der pyrotechnische Antrieb kann der Kappmechanik derart zugeordnet sein, dass bei Aktivierung des pyrotechnischen Antriebs die Kappmechanik angetrieben bzw. betrieben wird. Insbesondere trennt die Kappmechanik bei Aktivierung des pyrotechnischen Antriebs die elektrische Leitung. Der pyrotechnische Antrieb macht sich demnach den pyrotechnischen Effekt zu Nutze, um der Kappmechanik eine Antriebs-, Beschleunigungs- bzw. Betätigungskraft zur Verfügung zu stellen, mittels welcher die Kappmechanik mechanische Arbeit verrichten kann, um die elektrische Leitung zu durchtrennen. Es sei klar, dass der Antrieb nicht auf das beschriebene Einsatzgebiet zum Trennen einer elektrischen Leitung beschränkt ist. Beispielsweise kann ein Gyroskop in Rotation versetzt werden oder bei einer elektrischen Sicherung ein Bolzen zum Ver- oder Entriegeln angetrieben werden.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der pyrotechnische Antrieb dann ausgelöst, wenn ein auf den pyrotechnischen Antrieb wirkender kinetischer und/oder thermischer Energieeintrag eine vorbestimmte Energieeintragsschwelle überschreitet. Beispielsweise kann die Auslösung des pyrotechnischen Antriebs mit einer pyrotechnischen Energieabgabe einhergehen. Der pyrotechnische Antrieb erfährt beispielsweise einen kinetischen Energieeintrag, wenn der pyrotechnische Antrieb bewegt wird und/oder eine Bewegung des pyrotechnischen Antriebs vorzugsweise abrupt unterbrochen wird. Der thermische Energieeintrag auf den pyrotechnischen Antrieb kann beispielsweise durch die Umgebungstemperatur des pyrotechnischen Antriebs realisiert sein. Beispielsweise kann das Verfahren vorsehen, dass der pyrotechnische Antrieb ausschließlich dann ausgelöst wird, wenn die Energieeintragsschwelle überschritten wird.

In einer beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Auslösung des pyrotechnischen Antriebs durch einen mechanischen Krafteintrag an den pyrotechnischen Antrieb initiiert. Beispielsweise kann der pyrotechnische Antrieb ein mechanisches Anzündhütchen umfassen und der Krafteintrag kann durch einen Schlagbolzen bereitgestellt werden. Beispielsweise wird der mechanische Krafteintrag durch

eine Umwandlung von potentieller Energie in kinetische Energie und/oder durch eine Änderung der kinetischen Energie bereitgestellt. Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung kann die zum Initiieren der Auslösung des pyrotechnischen Antriebs notwendige mechanische Kraft zwischengespeichert werden, beispielsweise durch einen Kraftspeicher, der durch eine insbesondere Feder-Vorspannkraft realisiert ist, und bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragsschwelle die zwischengespeicherte mechanische Kraft vorzugsweise schlagartig freigegeben werden. Die zwischengespeicherte mechanische Kraft kann vorzugsweise derart zwischengespeichert bzw. bereitgestellt werden, dass zum Auslösen des pyrotechnischen Antriebs bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragsschwelle die Kraft unmittelbar zur Verfügung steht und unmittelbar auf den pyrotechnischen Antrieb übertragen werden kann.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung ist die Energieeintragsschwelle durch eine Temperaturschwelle und/oder eine Beschleunigungskraftschwelle realisiert. Beispielsweise kann es sich bei der Temperaturschwelle um eine Schwelle für eine Umgebungstemperatur des pyrotechnischen Materials handeln. Des Weiteren kann die Energieeintragsschwelle auch durch eine Schwelle einer auf das pyrotechnische Material wirkenden Beschleunigungskraft, insbesondere Negativbeschleunigungskraft, realisiert sein.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung der vorliegenden Erfindung wird das Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragsschwelle elektrisch ausgelöst. Beispielsweise kann das elektrische Auslösen als redundante Auslösoption vorgesehen sein. Beispielsweise kann durch die elektrische Auslösung eine Temperatur eingestellt werden, die dafür verantwortlich ist, dass die Temperaturschwelle überschritten wird. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass die elektrische Auslösung bewirkt, dass ein Reaktionsstoff und ein Reaktionspartnerstoff vermischt werden. Beispielsweise kann dies dadurch realisiert sein, dass die elektrische Auslösung ein Zerschneiden und/oder Schmelzen einer den Reaktionsstoff von dem Reaktionspartnerstoff trennenden Abgrenzung bewirkt.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens verfährt das Verfahren nach der Funktionsweise des nach einem der nachstehenden beispielhaften Aspekte bzw. beispielhaften Ausführungen ausgebildeten Systems zum Bereitstellen einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung, der mit den vorhergehenden Aspekten und beispielhaften Ausführungen kombinierbar ist, ist ein System zum Bereitstellen einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe, insbesondere von wenigstens 0,5 J, bereitgestellt. Erfindungsgemäße Systeme können beispielsweise Teil eines pyrotechnischen Antriebs sein und/oder einen pyrotechnischen Antrieb umfassen. Des Weiteren können erfindungsgemäße Systeme beispielsweise dazu dienen, eine

pyrotechnische Energieabgabe für eine pyrotechnische Trenneinrichtung zum Trennen einer elektrischen Ladekupplung beziehungsweise einer elektrischen Endladekupplung zwischen einer elektrischen Energiequelle und einem elektrischen Verbraucher zur Verfügung zu stellen. Pyrotechnische Energieabgaben werden beispielsweise in pyrotechnischen Trenneinrichtungen eingesetzt, die dazu eingerichtet sind, eine zu einer elektrischen Energiequelle, wie einer Batterie oder einem Akkumulator, zum Abführen und/oder Empfangen elektrischer Energie führenden elektrischen Leitung, wie ein Kabel, ein Draht, eine Leiterbahn, oder dergleichen, zu trennen. Derartige pyrotechnische Trenneinrichtungen sind dazu ausgelegt, eine elektrische Ladekupplung zwischen einer elektrischen Energiequelle und einer elektrischen Energieversorgung bzw. einer elektrischen Endladekupplung zwischen einer vorzugsweise aufladbaren Energiequelle und einem elektrischen Verbraucher zu trennen. Beispielsweise soll mit der pyrotechnischen Trenneinrichtung verhindert werden, dass an Elektronikgeräten eine Überhitzung insbesondere der Batterien, wie Lithiumionen-Batterien, einhergeht, was zu einer Beschädigung des Elektronikgeräts führen kann. Derartige Batterien können eine Stromstärke von deutlich über 1 A, insbesondere bis zu 10 A bzw. 50 A, bereitstellen. Pyrotechnische Trenneinrichtungen können auch derart gestaltet sein, dass diese zum Trennen einer zu einem Träger für elektronische Bauteile, insbesondere Leiterplatte, Leiterkarte oder Platine, oder darin vorgesehenen elektrisch leitenden Leiterbahnen zum Abführen und/oder Empfangen elektrischer Energie eingesetzt werden können.

Das erfindungsgemäße System umfasst Pyrotechnikmaterial oder pyrotechnisches Material, dass bei Erreichen einer pyrotechnikmaterialspezifischen Umsetztemperatur pyrotechnisch umgesetzt. Vorzugsweise werden pyrotechnische Materialien bereitgestellt, deren Umsetztemperaturen deutlich über 100°C, insbesondere über 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, oder sogar über 170°C, 200°C, 220°C oder über 250°C, insbesondere über 300°C liegen.

Ferner umfasst das erfindungsgemäße System eine Wärmequelle zum Abgeben von Wärme an das Pyrotechnikmaterial. Beispielsweise sind die Wärmequelle und das Pyrotechnikmaterial von einem gemeinsamen Gehäuse bzw. einer gemeinsamen Kammer umgeben. Vorzugsweise ist die Kammer druck-, gas- und fluiddicht. Die Wärmequelle kann derart eingerichtet sein, dass sie eine vorbestimmte Menge an Energie und/oder an Wärme speichert und/oder zu einem vorbestimmten Betriebszeitpunkt gespeicherte Wärme und/oder Energie an das Pyrotechnikmaterial abgibt, vorzugsweise um das pyrotechnische Material umzusetzen.

Erfindungsgemäß umfasst das System einen der Wärmequelle zugeordneten Steuerungsmechanismus zum Auslösen der vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe.

Der Steuerungsmechanismus dient dazu, dass die vorbestimmte pyrotechnische Energieabgabe zuverlässig bereitgestellt wird. Beim Einsatz des erfindungsgemäßen Systems in einer pyrotechnischen Trenneinrichtung kann mittels des Steuerungsmechanismus zuverlässig sichergestellt werden, dass die pyrotechnische Trenneinrichtung die elektrische Ladekopplung und/oder Entladekopplung leitende elektrische Leitung zuverlässig durchtrennt bzw. kappt. Der Steuerungsmechanismus wirkt zu einem vorbestimmten Betriebszustand, bei dem eine Umgebungstemperatur des Pyrotechnikmaterials die Umsetztemperatur noch nicht erreicht hat, derart auf die Wärmequelle zum Freigeben dessen gespeicherte Wärme an das Pyrotechnikmaterial ein, dass das Pyrotechnikmaterial zum zumindest teilweisen Erreichen der Umsetztemperatur erwärmt wird. Das erfindungsgemäße System hat sich vor allem dann als vorteilhaft erwiesen, wenn zum einen pyrotechnische Materialien mit hohen Umsetztemperaturen eingesetzt werden soll, um die Funktionsfähigkeit des pyrotechnischen Materials über lange Zeiträume sicherzustellen und Fehlaktivierungen zu vermeiden, und zum anderen eine pyrotechnische Umsetzung bereits bei niedrigeren Temperaturen erfolgen soll. Mittels des erfindungsgemäßen Systems ist es möglich, weiterhin die bewährten, bei hohen Umsetztemperaturen von insbesondere deutlich über 100°C umsetzenden Materialien einzusetzen, sodass die Funktionsfähigkeit eines pyrotechnischen Systems über lange Zeiträume sichergestellt ist und Fehlaktivierungen vermieden sind sowie eine zuverlässige und kontrollierte pyrotechnische Energieabgabe sichergestellt ist.

In einer beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Systems ist die in der Wärmequelle gespeicherte Wärme derart eingestellt, dass sie bei Aktivierung der Wärmequelle eine Temperaturdifferenz zwischen Umsetztemperatur und Umgebungstemperatur vollständig überbrückt, insbesondere überschreitet, vorzugsweise um wenigstens 5°, wenigstens 10°, wenigstens 15° oder wenigstens 50°. Anders ausgedrückt ist die gespeicherte Wärme derart eingestellt, dass eine Aktivierung der Wärmequelle durch den Steuerungsmechanismus eine Umsetzung des pyrotechnischen Materials bewirkt, insbesondere ohne, dass weitere Wärme- und/oder Energiezufuhr notwendig ist. Das erfindungsgemäße System kann auf diese Weise eine zuverlässige Abgabe der pyrotechnischen Energie gewährleisten. Die Wärmequelle kann derart ausgelegt sein, beziehungsweise die darin gespeicherte Energie derart eingestellt sein, dass das erfindungsgemäße System und/oder die Wärmequelle in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen, in denen es eingesetzt wird, ausgelegt bzw. dimensioniert und/oder eingestellt wird. In der Regel ist die pyrotechnikmaterialspezifische Umsetztemperatur des eingesetzten Pyrotechnikmaterials bekannt. Ferner ist es möglich, die Umgebungstemperaturen, denen das erfindungsgemäße System bzw. das Pyrotechnikmaterial ausgesetzt sein wird, abzuschätzen bzw. zu erraten. In Kenntnis dieser

beiden Temperaturen, kann die Wärmequelle ausgelegt bzw. derart eingestellt werden, sodass die Temperaturdifferenz zwischen Umsetztemperatur und Umgebungstemperatur wenigstens überbrückt wird, insbesondere deutlich überschritten wird, um ein funktionssicheres System bereitzustellen.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Systems umfasst die Wärmequelle einen, chemische Energie beinhaltenden, Energieträger. Beispielsweise kann der chemische Energieträger in einem Gehäuse bzw. einer Kapsel aufgenommen und/oder gespeichert sein. Eine Aktivierung der Wärmequelle, insbesondere des Energieträgers, bewirkt eine exotherme chemische Reaktion des Energieträgers. Unter exothermer chemischer Reaktion wird im Allgemeinen eine Reaktion verstanden, der weniger Energie zu dessen Aktivierung zugeführt wird, als die Reaktion an Energie freigibt bzw. abgibt. Der Energieträger kann beispielsweise eine chemische Substanz sein.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Systems weist die Wärmequelle einen Reaktionsstoff auf, wobei insbesondere der Reaktionsstoff, den die chemische Energie beinhaltenden Energieträger bildet. Die Wärmequelle kann außerdem einen Reaktionspartnerstoff umfassen. Der Reaktionsstoff ist von dem in der Wärmequelle oder außerhalb der Wärmequelle angeordneten Reaktionspartnerstoff getrennt, insbesondere derart getrennt, dass keine Vermengung bzw. Vermischung und/oder Kontaktierung zwischen Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff erfolgt, jedenfalls bis zur Auslösung der vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe durch den Steuerungsmechanismus. Bei Aktivierung der Wärmequelle, insbesondere bei Einwirkung des Steuerungsmechanismus auf die Wärmequelle, geht eine Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff einher, sodass eine exotherme chemische Reaktion ausgelöst wird. Das Bereitstellen der pyrotechnischen Energieabgabe kann beispielsweise durch eine Kettenreaktion erfolgen: Einwirken des Steuerungsmechanismus bei einem vorbestimmten Betriebszustand auf die Wärmequelle; wenigstens teilweise Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff; exotherme chemische Reaktion zwischen Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff, Freigeben der in dem Wärmespeicher gespeicherten Wärme und/oder Energie, die durch die exotherme chemische Reaktion generiert wird; Mitteilen der freigegebenen gespeicherten Wärme an das Pyrotechnikmaterial und Umsetzen des pyrotechnischen Materials; und pyrotechnische Energieabgabe.

Gemäß einer beispielhaften Ausführung der vorliegenden Erfindung umfasst die Wärmequelle einen Reaktionsstoff und einen davon getrennt angeordneten Partnerstoff. Der Reaktionsstoff kann Glycerin, Zink-Pulver, Ammoniumnitrat, Ammoniumchlorid und/oder Lithium-Aluminium-Hydrid umfassen. Der Reaktionspartnerstoff kann beispielsweise Kaliumpermanganat, Wasser und/oder Methanol umfassen. Als geeignete Kombinationen

von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff haben sich insbesondere die Folgenden als vorteilhaft erwiesen: Glycerin und Kaliumpermanganat; Zink-Pulver, Ammoniumnitrat, Ammoniumchlorid und Wasser oder Methanol; oder Lithium-Aluminium-Hydrid und Wasser.

Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführung der vorliegenden Erfindung weist die Wärmequelle einen Reaktionsstoff und einen Reaktionspartnerstoff auf, wobei der Reaktionsstoff von dem in der Wärmequelle oder außerhalb der Wärmequelle angeordneten Reaktionspartnerstoff getrennt ist. Die Wärmequelle umfasst ein Gehäuse zum Aufnehmen des Reaktionsstoffs und gegebenenfalls des Reaktionspartnerstoffs. Beispielsweise ist der Reaktionsstoff von dem Reaktionspartnerstoff durch das Gehäuse, insbesondere die Gehäusewandung, getrennt. Für den Fall, dass der Reaktionspartnerstoff ebenfalls in dem Gehäuse der Wärmequelle angeordnet ist, besitzt die Wärmequelle eine den Reaktionsstoff von dem Reaktionspartnerstoff trennende Abgrenzung, beispielsweise eine Abgrenzung. Das Gehäuse, insbesondere die Gehäusewand und gegebenenfalls die Abgrenzung, kann/können aus Glas, Kunststoff oder Metall, insbesondere einer Metall-Legierung, wie einer Roseschen Legierung, hergestellt sein. Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Systems ist/sind das Gehäuse und gegebenenfalls die Abgrenzung derart ausgelegt, dass in dem vorbestimmten Betriebszustand eine Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff einhergeht. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass das Gehäuse und/oder gegebenenfalls die Abgrenzung schmilzt, zerbricht oder dergleichen.

Innerhalb der Wärmequelle kann eine Gasblase, insbesondere eine Luftblase, vorgesehen sein, mit der die Aktivierung der Wärmequelle auf eine vorbestimmte Temperatur, insbesondere mit einer Toleranz von $\pm 2^{\circ}\text{C}$, eingestellt werden kann. Die Wärmequelle, insbesondere dessen Gehäuse, das beispielsweise aus Glas bestehen kann, ist zum größten Teil mit dem insbesondere flüssigen Reaktionsstoff gefüllt. Bei steigender Temperatur dehnt sich der flüssige Reaktionsstoff aus. Gleichzeitig dehnt sich auch die Gasblase aus. Der flüssige Reaktionsstoff kann derart gewählt sein, dass er nicht kompressibel ist, so dass der flüssige Reaktionsstoff infolge seiner Volumenausdehnung die Gasblase zusammendrückt. Die Wärmequelle, insbesondere dessen Gehäuse beispielsweise aus Glas, dehnt sich im Vergleich zum flüssigen Reaktionsstoff und/oder zur Gasblase weniger, insbesondere um ein Vielfaches weniger, insbesondere um ein vernachlässigbares Ausmaß, aus, so dass ein Innenvolumen der Wärmequelle, insbesondere des Gehäuses, annähernd konstant bleibt. Im Allgemeinen gilt, dass ein Druckgleichgewicht zwischen flüssigem Reaktionsstoff und insbesondere komprimierter Gasblase herrscht und dass der Druck im Innenvolumen mit steigender Temperatur ansteigt, da das Gesamtvolumen näherungsweise konstant ist, das Gasvolumen aber abnimmt. In einer beispielhaften Ausführung verschwindet die Gasblase

vollständig und/oder das Gas der Gasblase löst sich vollständig in dem flüssigen Reaktionsstoff.

Die Festigkeit der Wärmequelle, insbesondere des Gehäuses, das beispielsweise ein Glasröhrchen oder eine Glasampulle ist, ist durch dessen Material, insbesondere die Glassorte, und die Materialstärke des Gehäuses, insbesondere das Glasröhrchens, festlegbar. Der im Inneren des Gehäuses, insbesondere des Glasröhrchens, ansteigende Druck kann eine Belastungsgrenze des Gehäuses übersteigen, was zu einer insbesondere schlagartigen Zerstörung, insbesondere Zersplitterung, des Gehäuses führt. Insbesondere das Material Glas hat sich als vorteilhaft erwiesen, da es hart ist und bei mechanischer Belastung kaum nachgibt, sondern schlagartig zerbricht.

Beispielweise kann die Auslösetemperatur über die Dimensionierung und/oder Materialwahl des Gehäuses eingestellt werden. Insbesondere kann der Innendruck eingestellt werden, der ein Zerschlagen des Gehäuses zur Folge hat. Insbesondere hängt dies von den Eigenschaften des Gehäuses ab. Vor allem für eine Großserienfertigung wäre es möglich, die Auslösetemperatur über Glassorte und Wandstärke einzustellen.

Einen nicht zu vernachlässigenden Effekt auf die Auslösetemperatur hat auch die Gasblase, insbesondere dessen Größe und die Art des spezifischen Gases. Insbesondere gilt, dass unterschiedlich große Gasblasen eine unterschiedlich große Volumen- und/oder Ausdehnungsreserve für den flüssigen Reaktionsstoff bereitstellen und somit unterschiedliche Temperaturen für den kritischen Innendruck, der ein Zerschlagen des Gehäuses verursacht, einstellen. Es ist jedoch auch denkbar, auf die Gasblase vollständig zu verzichten. Eine Möglichkeit, die Auslösetemperatur einzustellen, besteht demnach darin, das Gehäuse im Wesentlichen konstant zu halten, beispielsweise konstante Materialwahl und/oder konstante Materialdickenwahl, aber gleichzeitig dafür jedoch die Größe der Gasblase zu variieren. Demnach kann in das Gehäuse der Wärmequelle der flüssige Reaktionsstoff eingefüllt werden, wobei die eingefüllte Menge des flüssigen Reaktionsstoffs die Größe, insbesondere das Volumen, der resultierenden Gasblase bestimmt. Nach dem Befüllvorgang kann das Gehäuse der Wärmequelle, insbesondere das Glasröhrchen oder die Glasampulle, verschlossen, insbesondere zugeschmolzen, werden. Die Größe der Gasblase bestimmt dabei das Ausdehnungsverhalten, insbesondere die Ausdehnungsreserve oder das zur Verfügung stehende Volumen, um das sich der flüssige Reaktionsstoff ausdehnen kann. Gleichermaßen bestimmt die Gasblase damit, welche Temperatur zum Zerschlagen des Gehäuses erforderlich ist, insbesondere diejenige Temperatur, bei der Gleichgewichtsdruck im Gehäuse, insbesondere im Glasröhrchen, den Berstdruck des Materials des Gehäuses, insbesondere Glas, erreicht.

Des Weiteren besteht eine Möglichkeit zur Einstellung der Auslösetemperatur darin, den Ausdehnungskoeffizient des flüssigen Reaktionsstoffs zu variieren, insbesondere den spezifischen flüssigen Reaktionsstoff zu variieren. Dadurch ist es ebenfalls möglich, den Innendruck innerhalb des Gehäuses zu beeinflussen.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Systems weist die Wärmequelle einen Reaktionsstoff und einen davon getrennt angeordneten Reaktionspartnerstoff auf. Der Reaktionspartnerstoff liegt bezüglich des Reaktionsstoffs im Verhältnis zu mindestens 1:1, vorzugsweise mindestens 1,5:1 oder mindestens 2:1 vor. Des Weiteren kann das Verhältnis höchstens 5:1 betragen, vorzugsweise höchstens 4:1 oder höchstens 3:1. Insbesondere liegt der Reaktionspartnerstoff bezüglich des Reaktionsstoffs im Verhältnis im Bereich von 1,5:1 bis 2,5:1 vor. Die angegebenen Verhältnisse gewährleisten, dass sich ausreichend Reaktionspartnerstoff mit Reaktionsstoff vermischen bzw. vermengen kann, um die exotherme chemische Reaktion zuverlässig zu generieren. Ferner kann den Reaktions- und Reaktionspartnerstoffen Füllmaterial beigemischt werden. Es wurde herausgefunden, dass die Reaktionsstoffe dazu tendieren, feste oder klebrige Rückstände zu bilden, die die Fortsetzung der exothermen Reaktion unterbinden können. Das Füllmaterial kann so beschaffen sein, dass feste und/oder klebrige Rückstände unterbunden werden, sondern nur flüssige oder gasförmige Reaktionsrückstände generiert werden. Dadurch kann die chemische Reaktion sicherer fortschreiten und die Gasexpansion zuverlässiger durchgeführt werden. Dabei liegt beispielsweise ein Mengenverhältnis von Reaktionsstoff zu Füllstoff bei etwa 0,5 : 1,5, insbesondere bei etwa 0,8 : 1,2 oder 1 : 1.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Systems weist die Wärmequelle einen Reaktionsstoff und einen davon getrennt angeordneten Reaktionspartnerstoff auf. Dabei kann vorgesehen sein, dass der Reaktionspartnerstoff und das Pyrotechnikmaterial wenigstens teilweise vermengt sind. Ein Mischungsverhältnis von Reaktionspartnerstoff zu Pyrotechnikmaterial kann dabei wenigstens 10:1, insbesondere 15:1, wenigstens 20:1 oder wenigstens 25:1, betragen. Aufgrund des Mengenüberschusses ist im Falle einer gemischten Bereitstellung von Reaktionspartnerstoff und Pyrotechnikmaterial weiterhin sichergestellt, dass ausreichend Reaktionspartnerstoff vorliegt, um bei Vermengung mit dem Reaktionsstoff die exotherme chemische Reaktion auszulösen. Das mit dem Reaktionspartnerstoff vermengte Pyrotechnikmaterial erfährt bei Aktivierung der Wärmequelle, insbesondere Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff, unmittelbar lokal, d. h. an denjenigen Stellen bzw. Bereichen, an denen die chemische Reaktion zwischen Reaktionspartnerstoff und Reaktionsstoff einhergeht, eine Wärmezufuhr, sodass das Pyrotechnikmaterial lokal umgesetzt. Die lokale Umsetzung von Teilen des Pyrotechnikmaterials bewirkt erneut eine Art Kettenreaktion. In dieser Kettenreaktion

werden auch die weiteren Bereiche des Pyrotechnikmaterials zu dessen pyrotechnischen Umsetzung aktiviert.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Systems aktiviert der Steuerungsmechanismus die Wärmequelle bei Überschreiten einer vorbestimmten Schwelle eines auf den Steuerungsmechanismus wirkenden kinetischen und/oder thermischen Energieeintrags. Beispielsweise ist der Steuerungsmechanismus so eingestellt, dass er die Wärmequelle bei einer vorbestimmten Umgebungstemperatur des Steuerungsmechanismus und/oder des pyrotechnischen Materials aktiviert. Der Steuerungsmechanismus kann ferner durch eine Schwelle für Bewegungsenergie und/oder potentielle Energie gebildet sein. Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung ist die Energieeintragsschwelle durch eine Temperaturschwelle und/oder eine Beschleunigungskraftschwelle realisiert. Beispielsweise kann es sich bei der Temperaturschwelle um eine Schwelle für eine Umgebungstemperatur des pyrotechnischen Materials handeln. Des Weiteren kann die Energieeintragsschwelle auch durch eine Schwelle einer auf das pyrotechnische Material wirkenden Beschleunigungskraft, insbesondere Negativbeschleunigungskraft, realisiert sein.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Systems ist der Steuerungsmechanismus durch eine vorbestimmte Temperaturbeständigkeitsschwelle der Wärmequelle realisiert. Als Temperaturbeständigkeitsschwelle der Wärmequelle kann beispielsweise eine materialspezifische Temperatur des Gehäuses der Wärmequelle verstanden werden. Die Temperaturbeständigkeitsschwelle des Wärmequellegehäuses ist durch diejenige Temperatur festgelegt, bis zu der das Gehäuse stabil bleibt und/oder den Reaktionspartnerstoff von dem Reaktionsstoff trennt bzw. abschirmt. Bei Überschreiten der Temperaturbeständigkeitsschwelle wird die Wärmequelle aktiviert, insbesondere dadurch, dass das Gehäuse oder die Abgrenzung zerbricht oder zerschmilzt, sodass eine Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff einhergeht. Die Vermengung kann, wie bereits erwähnt, eine exotherme chemische Reaktion bewirken.

Gemäß einer beispielhaften weiteren Ausführung des erfindungsgemäßen Systems ist der Steuerungsmechanismus durch eine auf die Wärmequelle wirkende Beschleunigungskraftschwelle, insbesondere negative Beschleunigungskraftschwelle, realisiert. Die negative Beschleunigungskraftschwelle kann beispielsweise bei einem Aufprall und/oder abrupten Stoppen überschritten werden. Bei Überschreiten der Beschleunigungskraftschwelle wird die Wärmequelle aktiviert, insbesondere dadurch, dass das Gehäuse und/oder die Abgrenzung zerbricht, sodass eine Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff einhergeht, insbesondere unter exothermer chemischer Reaktion.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Systems umfasst der Steuerungsmechanismus ein elektrisches Auslöseelement. Insbesondere ist der Steuerungsmechanismus durch das elektrische Auslöseelement gebildet. Das elektrische Auslöseelement, insbesondere ein als elektrisches Anzündhütchen mit einer Wärme-, bzw. Zündbrücke ausgebildetes elektrisches Auslöseelement, ist der Wärmequelle derart zugeordnet, dass bei einer elektrischen Initiierung des elektrischen Auslöseelements, die Wärmequelle aktiviert wird. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass sich das elektrische Auslöseelement, insbesondere dessen Zünd- oder Wärmebrücke, derart erhitzt, dass das Gehäuse oder die Abgrenzung zerstört wird, um eine Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff auszulösen. Beispielsweise kann das elektrische Auslöseelement des Steuerungsmechanismus mit wenigstens einer weiteren Steuerungsmechanismusoption, wie dem Überschreiten einer vorbestimmten kinetischen und/oder thermischen Energieeintragsschwelle, in Reihe geschaltet sein, sodass das elektrische Initiieren des elektrischen Auslöseelements das Überschreiten der Energieeintragsschwelle bewirkt, sodass in Folge dessen die Wärmequelle zum Freigeben ihrer gespeicherter Wärme an das Pyrotechnikmaterial aktiviert wird.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung, der mit den vorhergehenden Aspekten und beispielhaften Ausführungen kombinierbar ist, ist ein System zum Bereitstellen einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe bereitgestellt.

Das erfindungsgemäße System umfasst einen pyrotechnischen Antrieb. Der pyrotechnische Antrieb kann beispielsweise in einer pyrotechnischen Trenneinrichtung eingesetzt werden, die dazu eingerichtet sein kann, eine zu einer elektrischen Energiequelle, wie einer Batterie oder einem Akkumulator, zum Abführen und/oder Empfangen elektrischer Energie führenden elektrischen Leitung, wie ein Kabel, ein Draht, eine Leiterbahn, oder dergleichen, zu trennen. Derartige pyrotechnische Trenneinrichtungen sind dazu ausgelegt, eine elektrische Ladekopplung zwischen einer elektrischen Energiequelle und einer elektrischen Energieversorgung bzw. einer elektrischen Endladekopplung zwischen einer vorzugsweise aufladbaren Energiequelle und einem elektrischen Verbraucher zu trennen. Beispielsweise soll mit der pyrotechnischen Trenneinrichtung verhindert werden, dass an Elektronikgeräten eine Überhitzung insbesondere der Batterien, wie Lithiumionen-Batterien, einhergeht, was zu einer Beschädigung des Elektronikgeräts führen kann. Pyrotechnische Trenneinrichtungen können auch derart gestaltet sein, dass diese zum Trennen einer zu einem Träger für elektronische Bauteile, insbesondere Leiterplatte, Leiterkarte oder Platine, oder darin vorgesehenen elektrisch leitenden Leiterbahnen zum Abführen und/oder Empfangen elektrischer Energie eingesetzt werden können. Der pyrotechnische Antrieb kann derart eingestellt sein, dass er eine Kappmechanik der pyrotechnischen Trenneinrichtung zum Kappen der elektrischen Leitung betreibt. Der pyrotechnische Antrieb kann

beispielsweise derart ausgelegt sein, dass die mechanische Arbeit zum Durchtrennen der elektrischen Leitung durch die Kappmechanik unter Ausnutzung des pyrotechnischen Effekts des pyrotechnischen Antriebs erfolgt. Der pyrotechnische Antrieb kann der Kappmechanik derart zugeordnet sein, dass bei Aktivierung des pyrotechnischen Antriebs die Kappmechanik angetrieben bzw. betrieben wird. Insbesondere trennt die Kappmechanik bei Aktivierung des pyrotechnischen Antriebs die elektrische Leitung. Der pyrotechnische Antrieb macht sich demnach den pyrotechnischen Effekt zu Nutze, um der Kappmechanik eine Antriebs-, Beschleunigungs- bzw. Betätigungskraft zur Verfügung zu stellen, mittels welcher die Kappmechanik mechanische Arbeit verrichten kann, um die elektrische Leitung zu durchtrennen.

Des Weiteren umfasst das System einen Steuerungsmechanismus zum Auslösen des pyrotechnischen Antriebs. Der Steuerungsmechanismus löst den pyrotechnischen Antrieb dann aus, wenn ein auf den Steuerungsmechanismus wirkender kinetischer und/oder thermischer Energieeintrag eine vorbestimmte Energieeintragungsschwelle erreicht und/oder überschreitet. Der Steuerungsmechanismus kann derart eingestellt sein, dass die Auslösung des pyrotechnischen Antriebs automatisch erfolgt, wenn die vorbestimmte Energieeintragungsschwelle überschritten wird.

Das erfindungsgemäße System kann dazu in der Lage sein, ein Kabel im Mikrosekunden-Bereich zu durchtrennen, beispielsweise in 48 μ s bei einem AWG (American Wire Gauge) 12-Kabel.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Systems weist der pyrotechnische Antrieb ein mechanisches Anzündhütchen zum Bereitstellen einer pyrotechnischen Gasexpansion auf. Mechanische Anzündhütchen können sich dadurch kennzeichnen, dass deren Aktivierung mittels mechanischer Krafteinwirkung, wie z. B. durch einen Schlag oder durch einen Stoß, ausgelöst wird. Mechanische Anzündhütchen können einen Explosivstoff umfassen, der sich in Folge der Aktivierung, insbesondere der mechanischen Krafteinwirkung, pyrotechnisch umsetzt und eine pyrotechnische Gasexpansion bereitstellt. Beispielsweise wird die Umsetzung des Explosivstoffs durch eine Reibungskraft zwischen dem Explosivstoff und einem die mechanische Krafteinwirkung verursachenden Kraftübertragungsteil, wie einem Schlagbolzen, initiiert.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung der vorliegenden Erfindung umfasst der Steuerungsmechanismus ein vorgespanntes, insbesondere federvorgespanntes Kraftübertragungsteil, wie einen Schlagbolzen. Das Kraftübertragungsteil kann in einer Initialstellung, d. h. in einer nicht aktivierten Stellung des pyrotechnischen Antriebs, vorgespannt, insbesondere federvorgespannt sein, und/oder potentielle Energie umfassen bzw. zwischenspeichern. Bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragungsschwelle wird

das Kraftübertragungsteil betätigt, insbesondere um das mechanische Anzündhütchen zu aktivieren. Bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragungsschwelle kann das Kraftübertragungsteil die in Folge der Vorspannung zwischengespeicherte potentielle Energie freigeben. Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung wird bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragungsschwelle die Vorspannung vorzugsweise schlagartig aufgehoben und/oder an das mechanische Anzündhütchen zu dessen Aktivierung übertragen bzw. abgegeben. Die Vorspannung kann beispielsweise derart schlagartig aufgehoben werden, dass bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragungsschwelle die in Form der Vorspannung bereitgestellte potentielle Energie sich unmittelbar in Bewegungsenergie umwandelt und/oder das Kraftübertragungsteil unmittelbar beschleunigt wird. Beispielsweise kann das Kraftübertragungsteil durch eine Feder in der vorgespannten Stellung gehalten werden, die die Initialstellung des pyrotechnischen Antriebs kennzeichnet. Wird die Energieeintragungsschwelle schließlich überschritten, wirkt die Federvorspannkraft unmittelbar auf das Kraftübertragungsteil und beschleunigt dieses aus dessen Initialstellung heraus in Richtung des mechanischen Anzündhütchens, um dieses zu aktivieren, insbesondere um die pyrotechnische Gasexpansion zu bewirken.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung umfasst der Steuerungsmechanismus ferner einen Kraftspeicher zum Halten des Kraftübertragungsteils in seiner vorgespannten Stellung. Beispielsweise kann der Kraftspeicher durch die Wärmequelle gemäß einem der vorhergehenden Aspekte bzw. beispielhaften Ausführungen realisiert sein. Der Kraftspeicher kann der Vorspannung, insbesondere der Federvorspannung, vorzugsweise der Federkraft, entgegenwirken, insbesondere eine Gegenkraft bereitstellen, die das Kraftübertragungsteil in der vorgespannten Stellung hält, vorzugsweise solange die vorbestimmte Energieeintragungsschwelle nicht überschritten ist. Beispielsweise ist der Kraftspeicher als Art Soll-Bruchstelle ausgebildet, die bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragungsschwelle vorzugsweise schlagartig aktiviert wird und insbesondere das Kraftübertragungsteil freigibt, sodass sich das Kraftübertragungsteil aus der vorgespannten Stellung lösen kann. Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung ist der Kraftspeicher zwischen dem mechanischen Anzündhütchen, insbesondere dem Kraftübertragungsteil, und der Feder angeordnet.

In einer weiteren beispielhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Systems ist der Kraftspeicher dem Kraftübertragungsteil derart zugeordnet, dass bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragungsschwelle der Kraftspeicher das Kraftübertragungsteil freigibt. Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung führt das Kraftübertragungsteil dann eine axiale Relativbewegung bezüglich des pyrotechnischen Antriebs, insbesondere bezüglich des mechanischen Anzündhütchens, durch, wobei insbesondere das Kraftübertragungsteil auf das mechanische Anzündhütchen aufschlägt. Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung ist

das Kraftübertragungsteil zweiteilig ausgebildet und besteht aus einem dem pyrotechnischen Antrieb unmittelbar zugeordneten Schlagbolzen und einem dem Kraftspeicher bzw. der Feder unmittelbar zugeordneten Beschleunigungsteil. Bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragsschwelle gibt der Kraftspeicher das Beschleunigungsteil frei, welches axial in Richtung des Schlagbolzens beschleunigt wird und schließlich auf den Schlagbolzen auftrifft, bzw. aufschlägt. Zur Aktivierung des pyrotechnischen Antriebs bzw. des mechanischen Anzündhütchens überträgt der Schlagbolzen die von dem Beschleunigungsteil aufgewendete und generierte Bewegungsenergie auf das mechanische Anzündhütchen. Beispielsweise ist der vorzugsweise als Sollbruchstelle ausgebildete Kraftspeicher zwischen Schlagbolzen und Beschleunigungsteil angeordnet und/oder hält das Beschleunigungsteil und den Schlagbolzen in einem Abstand zueinander in der Initialstellung, die die nicht aktivierte Stellung des pyrotechnischen Antriebs betrifft. Bei Aktivierung des pyrotechnischen Antriebs, also in Folge eines Überschreitens der vorbestimmten Energieeintragsschwelle, gibt der Kraftspeicher, insbesondere die Sollbruchstelle, das Beschleunigungsteil frei, sodass sich dieses zu dem Schlagbolzen hin bewegen kann. Das Beschleunigungsteil ist beispielsweise durch eine Kammerwandung axial während dessen Bewegung geführt. Beispielsweise bildet die Kammerwandung wenigstens einen Teil eines Getriebes des erfindungsgemäßen Systems.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Systems ist die Vorspannung des Kraftübertragungsteils durch eine Feder, beispielsweise eine Spiraldruckfeder, realisiert. Die Feder kann sich an dem Kraftübertragungsteil abstützen, insbesondere an dem Beschleunigungsteil. Zum anderen Ende der Feder, kann sich die Feder an einem Außengehäuse des Systems, des pyrotechnischen Antriebs und/oder der pyrotechnischen Trenneinrichtung abstützen.

Gemäß einer beispielhaften weiteren Ausführung des erfindungsgemäßen Systems ist die kinetische Energieeintragsschwelle derart eingestellt, dass bei Überschreiten einer auf den Kraftspeicher wirkenden Beschleunigungskraftschwelle, insbesondere negative Beschleunigungskraftschwelle, der Kraftspeicher das Kraftübertragungsteil freigibt. Die negative Beschleunigungskraftschwelle kann beispielsweise bei einem Aufprall und/oder abrupten Stoppen überschritten werden. Bei Überschreiten der Beschleunigungskraftschwelle kann ein Gehäuse und/oder eine einen Reaktionsstoff von einem Reaktionspartnerstoff trennende Abgrenzung zerbrechen. Beispielsweise geht damit eine Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff einher, insbesondere unter exothermer chemischer Reaktion.

Gemäß einer beispielhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Systems ist die thermische Energieeintragsschwelle derart eingestellt, dass bei Überschreiten einer vorbestimmten Umgebungstemperatur des Kraftspeichers der Kraftspeicher das

Kraftübertragungsteil freigibt. Beispielsweise ist der Steuerungsmechanismus durch eine vorbestimmte Temperaturbeständigkeitsschwelle des Kraftspeichers realisiert. Als Temperaturbeständigkeitsschwelle des Kraftspeichers kann beispielsweise eine materialspezifische Temperatur eines Gehäuses des Kraftspeichers verstanden werden. Die Temperaturbeständigkeitsschwelle des Kraftspeichergehäuses ist durch diejenige Temperatur festgelegt, bis zu der das Gehäuse stabil bleibt und/oder den Reaktionspartnerstoff von dem Reaktionsstoff trennt bzw. abschirmt. Bei Überschreiten der Temperaturbeständigkeitsschwelle gibt der Kraftspeicher das Kraftübertragungsteil frei, insbesondere dadurch, dass das Gehäuse oder die Abgrenzung schmilzt. Dies kann eine Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff bewirken.

Gemäß einer beispielhaften Ausführung der vorliegenden Erfindung umfasst der Steuerungsmechanismus ein elektrisches Auslöseelement, das dem Kraftspeicher derart zugeordnet ist, dass bei einer elektrischen Initiierung des elektrischen Auslöseelements der Kraftspeicher zum Freigeben des Kraftübertragungsteils aktiviert wird. Insbesondere ist der Steuerungsmechanismus durch das elektrische Auslöseelement gebildet. Das elektrische Auslöseelement, insbesondere ein als elektrisches Anzündhütchen mit einer Wärme-, bzw. Zündbrücke ausgebildetes elektrisches Auslöseelement, ist dem Kraftspeicher derart zugeordnet, dass bei einer elektrischen Initiierung des elektrischen Auslöseelements, der Kraftspeicher zum Freigeben des Kraftübertragungsteils aktiviert wird. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass sich das elektrische Auslöseelement, insbesondere dessen Zünd- oder Wärmebrücke, derart erhitzt, dass das Gehäuse oder die Abgrenzung zerstört wird, um eine Vermengung von Reaktionsstoff und Reaktionspartnerstoff auszulösen. Beispielsweise kann das elektrische Auslöseelement des Steuerungsmechanismus mit wenigstens einer weiteren Steuerungsmechanismusooption, wie dem Überschreiten einer vorbestimmten kinetischen und/oder thermischen Energieeintragsschwelle, in Reihe geschaltet sein, sodass das elektrische Initiieren des elektrischen Auslöseelements das Überschreiten der Energieeintragsschwelle bewirkt, sodass in Folge dessen der Kraftspeicher zum Freigeben des Kraftübertragungsteils aktiviert wird.

Im Folgenden werden weitere Eigenschaften, Merkmale und Vorteile der Erfindung mittels Beschreibung bevorzugter Ausführungen der Erfindung anhand der beiliegenden beispielhaften Zeichnungen und Tabellen deutlich, in denen zeigen:

Figur 1 eine Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Systems, das Teil einer pyrotechnischen Trenneinrichtung ist;

- Figur 2 eine Schnittansicht der pyrotechnischen Trenneinrichtung nach Figur 1 nach Bereitstellen einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe durch das erfindungsgemäße System;
- Figur 3 eine Schnittansicht einer weiteren beispielhaften Ausführung eines erfindungsgemäßen Systems, das Teil einer pyrotechnischen Trenneinrichtung ist;
- Figur 4 eine Schnittansicht der pyrotechnischen Trenneinrichtung nach Figur 3 nach Bereitstellen der vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe durch das erfindungsgemäße System;
- Figur 5 eine weitere beispielhafte Ausführung eines erfindungsgemäßen Systems, das Teil einer pyrotechnischen Trenneinrichtung ist;
- Figur 6 eine Schnittansicht der pyrotechnischen Trenneinrichtung nach Figur 5 nach Bereitstellen der pyrotechnischen Energieabgabe durch das erfindungsgemäße System;
- Figur 7 eine Schnittansicht einer weiteren beispielhaften Ausführung eines erfindungsgemäßen Systems, das Teil einer pyrotechnischen Trenneinrichtung ist; und
- Figur 8 eine Schnittansicht der pyrotechnischen Trenneinrichtung aus Figur 7 nach Bereitstellen der pyrotechnischen Energieabgabe durch das pyrotechnische System.

In der folgenden Beschreibung beispielhafter Ausführungen erfindungsgemäßer Systeme sowie erfindungsgemäßer Verfahren ist ein erfindungsgemäßes System im Allgemeinen mit der Bezugsziffer 1 versehen. In den Ausführungsformen gemäß der beiliegenden Figurenseiten ist das erfindungsgemäße System 1 zum Bereitstellen einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe vorzugsweise von wenigstens 0,5 J Teil in eine pyrotechnische Trenneinrichtung, die im Allgemeinen mit der Bezugsziffer 100 versehen ist, zum Durchtrennen eines strangförmigen oder flächenförmigen Elementes. In einer Ausführungsform der Erfindung wird hierbei die Trennung einer zu einer elektrischen Energiequelle (nicht dargestellt), wie einer Batterie oder einem Akkumulator, zum Abführen und/oder Empfangen elektrischer Energie führenden elektrischen Leitung 103, die beispielsweise ein oder eine Mehrzahl von: einem Kabel, einem Draht, einem Geflecht, einem

Seil, einem Schlauch, einer (Glas-)Faser mit oder ohne Armierung und/oder Ummantelung, eine Leiterbahn oder eine Kombination aus obigen Beispielen oder dergleichen sein kann, integriert. Um Wiederholungen zu vermeiden wird nachfolgend auf die Trennung einer elektrischen Ladekopplung einer elektrischen Leitung eingegangen. Dem Fachmann erschließt sich jedoch, dass auch andere strangförmige Elemente oder flächenförmige Elemente durchtrennt werden können. Die pyrotechnische Trenneinrichtung 100 ist dazu ausgelegt, beispielsweise eine elektrische Ladekopplung bzw. eine elektrische Entladekopplung, die über eine elektrische Leitung 103 übertragen wird, zu trennen. Die notwendige Energie zum Durchtrennen einer elektrischen Leitung 103, die beispielsweise aus Litzen 106 und einer Isolationshülle 104 besteht, wird mittels des erfindungsgemäßen Systems 1 bereitgestellt. Die durch das System 1 bereitzustellende notwendige Energie hängt von der Dimensionierung der Trenneinrichtung 100 sowie insbesondere von dem Material, der Materialstärke und/oder einem Leitungsdurchmesser ab und ist über eine Skalierung bzw. geeignete Auslegung des erfindungsgemäßen Systems 1 einzustellen. Anhand der Figuren 1-8 werden beispielhafte Ausführungen erfindungsgemäßer Systeme 1 beschrieben, die jeweils Teil einer pyrotechnischen Trenneinrichtung 100 sind und der pyrotechnischen Trenneinrichtung 100 die zum Durchtrennen der beispielsweise elektrischen Leitung 103 notwendige Energie bereitstellen. Dabei werden gleiche bzw. ähnliche Komponenten mit gleichen bzw. ähnlichen Bezugsziffern versehen. Um Wiederholungen zu vermeiden, wird in Bezug auf die verschiedenen Ausführungen jeweils im Wesentlichen nur auf die sich in Bezug auf die weiteren Ausführungen ergebenden Unterschiede eingegangen.

In den Figuren 1 und 2 ist eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems 1 dargestellt, wobei Figur 1 den Zustand der pyrotechnischen Trenneinrichtung 100 vor dessen Aktivierung und Figur 2 den Zustand der pyrotechnischen Trenneinrichtung 100 nach dessen Auslösung bzw. Aktivierung zeigt. Die pyrotechnische Trenneinrichtung 100 umfasst ein längliches, hohlzylindrisches Gehäuse 105, welches zu einer Längsseite hin geschlossen ist. An dieser Längsseite ist eine im Wesentlichen ebene Bodenwandung 107 vorgesehen. An einem distalen Randbereich 109 besitzt das Gehäuse 105 einen im Wesentlichen senkrecht zur Axialerstreckung des Gehäuses 105 orientierten Durchgangskanal 111, durch den die elektrische Leitung 103 hindurchgeführt ist. Der Bodenwandung 107 gegenüberliegend ist das Gehäuse 105 offen, wobei eine Öffnung 113 stirnseitig gebildet ist. Durch die Öffnung 113 in das Innere des Gehäuses 105 ist teilweise ein pyrotechnischer Antrieb 115 eingesetzt, der dazu eingerichtet ist, eine axial innerhalb des Gehäuses 105 beweglich angeordnete Kappmechanik 117 zu betreiben. Insbesondere liefert der pyrotechnische Antrieb 115 die mechanische Arbeit, die zum Durchtrennen der elektrischen Leitung 103 notwendig ist, wobei sich der pyrotechnische Antrieb 115 den pyrotechnischen Effekt zunutze macht. Der pyrotechnische Antrieb ist, wie es in Figur 1 schematisch abgebildet ist, mittels einer Welle-

Nabe-Verbindung 119 mit dem Gehäuse 105 gas- und druckdicht verbunden. Der pyrotechnische Antrieb 115 umfasst eine druck-, flüssigkeits- und/oder gasdichte Kammer 121, die einen kappmechanikseitigen Hülsenabschnitt 123 besitzt, der größtenteils durch die Öffnung 113 in das Innere des Gehäuses 105 eingeschoben ist. Die Kappmechanik 117, die beispielsweise eine Klinge, ein Bolzen bzw. ein Kolben, eine Kugel, eine Ramme oder eine Schneide sein kann und vorzugsweise aus Kunststoff, insbesondere Hartkunststoff oder auch Kautschuk, Keramik, Glas oder Metall, hergestellt ist, ist umfänglich sowohl von dem Gehäuse 105 als auch von dem Hülsenabschnitt 123 umgeben und wird bei einer Axialbewegung sowohl von dem Hülsenabschnitt 123 als auch von dem Gehäuse 105 geführt. Innenseitig ist ein Dichtring 125, insbesondere mehrere hintereinander angeordnete Dichtringe 125, zwischen Hülsenabschnitt 123 und Kappmechanik 117 vorgesehen. Es sei jedoch klar, dass jede denkbare Möglichkeit der Abdichtung zwischen Hülsenabschnitt 123 und Kappmechanik 117 vorgesehen sein kann. Beispielsweise kann die Kappmechanik 117 derart gestaltet sein, dass sich diese bei Druckbelastung an die Wandung des Hülsenabschnitts 123 anlegt, wie z.B. nach Art eines Minié-Geschosses. Der Hülsenabschnitt 123 mündet in einen Radialflansch 127, der bezüglich des Hülsenabschnitts 123 nach radial Innen verspringt, um eine axiale ringförmige Auflage 129 für die Kappmechanik 117 zu bilden. Dadurch lässt sich die Montage vereinfachen, jedoch für die Funktionsweise der vorliegenden Erfindung nicht wesentlich.

Die Kammer 121 ist im Wesentlichen ein längliches Bauteil und hohlzylindrisch geformt mit endseitigen Durchgangsöffnungen 131, 133 (einander gegenüberliegend). An den Flanschabschnitt 127 schließt ein Zylinderabschnitt 135 an, der eine geringere Wandstärke als der Flanschabschnitt 127 besitzt und der eine der (Ring-)Auflagefläche 129 gegenüberliegende (ring-)förmige Auflage 137 bildet, auf der eine Montagehilfe 139 aufliegt, die beispielsweise in Form einer Papierscheibe bereitgestellt ist. Der Zylinderabschnitt 135 definiert einen zylindrischen Hohlraum, der an einem gegenüberliegenden Ende in Bezug auf den Hülsenabschnitt 123 abgeschlossen ist. Zum Abschließen ist ein stopfenartiges Bodenteil 141 über die Öffnung 133 in die Kammer 121 eingesetzt und mit der Kammer 121 verbunden, sodass der Innenraum flüssigkeits-, druck- und/oder gasdicht ausgestaltet ist. Das Bodenteil 141 kann beispielsweise über eine Schraubverbindung, die schematisch mittels der Bezugsziffer 143 angedeutet ist, oder eine anderweitige stoffschlüssige oder kraftschlüssige Verbindung mit der Kammer 121 befestigt sein. Ferner kann zur Erhöhung der Dichtungsleistung ein Dichtungsring 145 an einem stirnseitigen Ende 147 der Kammer 121 derart angeordnet sein, dass ein Kopf 149 des Bodenteils an der Dichtungsaufnahme für die Dichtung 145 zusammen mit dem stirnseitigen Ende 147 bildet. Stoffschlüssige Verbindungen, wie Verschweißen, Verkleben oder dergleichen, sind ebenfalls denkbar.

Das erfindungsgemäße System 1 kann den pyrotechnischen Antrieb 115 umfassen. Der pyrotechnische Antrieb 115 bzw. das System 1 umfassen ein pyrotechnisches Material 3, welches innerhalb dem Kammerhohlraum angeordnet ist, und zwar im Bereich des Bodenteils 141. Das pyrotechnische Material 3 ist dazu ausgelegt, sich bei Überschreitung einer vorbestimmten Umgebungstemperatur pyrotechnisch umzusetzen. Die pyrotechnische Umsetzung des pyrotechnischen Materials 3 hat im Allgemeinen eine Gasexpansion zur Folge, aufgrund welcher der Druck innerhalb der Kammer 121 erheblich ansteigt, sodass eine Kraft auf die Kappmechanik 117 ausgeübt wird, die sich in Folge der Gasexpansion axial relativ zu Kammer 121, insbesondere Hülsenabschnitt 123, und Gehäuse 105, bewegt und auf diese Weise beispielsweise die elektrische Leitung 103 durchtrennt (siehe Figur 2).

Der pyrotechnische Antrieb 115 ist mit der Kappmechanik 117 mittels eines Getriebes 151 zur insbesondere übersetzungsfreien Übertragung der von dem pyrotechnischen Antrieb 115 erzeugten Antriebskraft auf die Kappmechanik 117 gekoppelt. Das Getriebe 151 umfasst beispielsweise wenigstens teilweise die Kammer 121, in der das pyrotechnische Material 3 angeordnet ist, insbesondere eine Kammerinnenwandung, sowie das Kappmechanikgehäuse 105, insbesondere diejenigen Abschnitte, die zur Kraftübertragung der pyrotechnischen Antriebskraft auf die Kappmechanik 117 verantwortlich sind. Beispielsweise sind diejenigen Abschnitte zur Kraftübertragung verantwortlich bzw. maßgeblich, welche die Kappmechanik 117 während dessen axialen Relativbewegung führen bzw. mit der Kappmechanik 117 im Wesentlichen parallel zu dessen Bewegungsrichtung in Kontakt stehen. Die Kappmechanik 117 ist dem pyrotechnischen Antrieb 115 mittels des Getriebes 151 so zugeordnet, dass die Kappmechanik 117 bei Aktivierung bzw. Auslösung des pyrotechnischen Antriebs 115 mittels des Getriebes 115 betätigt und zu einer axialen Relativbewegung bezüglich des Gehäuses 105 der Kappmechanik und bezüglich des Hülsenabschnitts 123 veranlasst wird (siehe Figur 2).

Das erfindungsgemäße System 1 kann die Kammer 121 umfassen, bzw. in der Kammer 121 angeordnet sein. Das System 1 zum Bereitstellen einer vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe umfasst eine Wärmequelle 5 zum Abgeben von Wärme an das pyrotechnische Material bzw. Pyrotechnikmaterial 3. Die Wärmequelle 5 kann beispielsweise eine flaschenartige oder kapselartige Struktur bzw. Form besitzen. Die Wärmequelle 5 umfasst ein Gehäuse 7, beispielsweise aus Glas, Kunststoff oder Metall, insbesondere einer Metall-Legierung, wie einer Roseschen Legierung, zum Aufnehmen eines, vorzugsweise chemische Energie beinhaltenden, Reaktionsstoffs 9. Beispielsweise umfasst der Reaktionsstoff Glycerin, Zink-Pulver, Ammoniumnitrat, Ammoniumchlorid und/oder Lithium-Aluminium-Hydrid. Des Weiteren umfasst die Wärmequelle 5 einen von dem Reaktionsstoff 9 getrennten Reaktionspartnerstoff 11. Gemäß Figur 1 ist der Reaktionspartnerstoff 11, der beispielsweise Kaliumpermanganat, Wasser und/oder Methanol umfassen kann, mittels des Gehäuses 7 von

dem Reaktionsstoff 9 getrennt und innerhalb der Kammer 121 angeordnet. Des Weiteren ist gemäß der beispielhaften Ausführung der Figuren 1 und 2 der Reaktionspartnerstoff 11 von dem pyrotechnischen Material 3 mittels einer dünnwandigen Abgrenzung 13, wie beispielsweise einer Trennwand oder –schicht, getrennt. Auch ein direktes Vermischen von pyrotechnischem Material 3 mit dem Reaktionspartnerstoff 11 ist möglich.

Gemäß der vorliegenden Erfindung ist die Wärmequelle 5 so eingestellt, dass sie bei ihrer Aktivierung dem pyrotechnischen Material 3 Wärme mitteilt, sodass das pyrotechnische Material 3 zumindest teilweise seine pyrotechnisch materialspezifische Umsetztemperatur erreicht. Die Steuerung bzw. Auslösung der Wärmequelle 3 erfolgt über einen der Wärmequelle 5 zugeordneten Steuerungsmechanismus zum Auslösen der vorbestimmten pyrotechnischen Energieabgabe. Der Steuerungsmechanismus ist dazu eingerichtet, zu einem vorbestimmten Betriebszustand, bei dem eine Umgebungstemperatur des pyrotechnischen Materials 3 die Umsetztemperatur des pyrotechnischen Materials 3 noch nicht erreicht hat, derart auf die Wärmequelle 5 zum Freigeben dessen gespeicherter Wärme an das pyrotechnische Material 3 einzuwirken, dass das pyrotechnische Material zum zumindest teilweisen Erreichen der Umsetztemperatur erwärmt wird. Beispielsweise kann der Steuerungsmechanismus die Wärmequelle dann aktivieren, wenn eine vorbestimmte Schwelle eines auf den Steuerungsmechanismus wirkenden kinetischen und/oder thermischen Energieeintrags überschritten wird.

Gemäß der Ausführungsform der Figuren 1 bis 2 ist der Steuerungsmechanismus beispielsweise durch eine vorbestimmte Temperaturbeständigkeitsschwelle der Wärmequelle 5 realisiert. Bei der Temperaturbeständigkeitsschwelle der Wärmequelle 5 handelt es sich beispielsweise um diejenige Temperatur, bis zu welcher das Gehäuse 7 der Wärmequelle 5 stabil bleibt und demnach seine Form beibehält und/oder den Reaktionsstoff 9 von dem Reaktionspartnerstoff 11 trennt. Wird diese Temperaturbeständigkeitsschwelle des Gehäuses 7 überschritten, wird die Wärmequelle 5 aktiviert, und Wärme an das pyrotechnische Material 3 mitgeteilt.

Wie es schematisch in Figur 2 dargestellt ist, kann die Aktivierung der Wärmequelle 5 dadurch erfolgen, dass das Gehäuse 7 zerbricht oder wenigstens teilweise zerschmilzt, sodass eine Vermengung von Reaktionsstoff 9 und Reaktionspartnerstoff 11 einhergeht. Der Reaktionsstoff 9 und der Reaktionspartnerstoff 11 sind derart bezüglich einander ausgelegt, dass bei einer Vermengung der beiden Stoffe, insbesondere in Folge einer Aktivierung der Wärmequelle 5, eine exotherme chemische Reaktion ausgelöst wird und die dabei resultierende bzw. entstehende Wärme an das pyrotechnische Material 3 mitgeteilt wird. Wie es in Figur 2 ebenfalls schematisch angedeutet ist, ist ein Zustand der pyrotechnischen

Trenneinrichtung 100 bzw. der Wärmequelle 5 bzw. des pyrotechnischen Materials 3 dargestellt, in welchem die Wärmequelle 5 durch den Steuerungsmechanismus aktiviert wurde, sodass dem pyrotechnischen Material 3 so viel Wärme mitgeteilt wurde, dass sich das pyrotechnische Material 3 umgesetzt hat, wodurch eine Gasexpansion hervorgerufen wurde, die eine axiale Relativbewegung der Kappmechanik 117 bewirkt hat, um die beispielsweise elektrische Leitung 103 zu kappen. Aufgrund der zerbrochenen Wärmequelle 5 bzw. des zerbrochenen Gehäuses 7 liegt in der Kammer 121 teilweise ein Gemisch aus pyrotechnischem Material 3, Reaktionsstoff 9 und Reaktionspartnerstoff 11 vor, zusammen mit Verbrennungsresten, wie beispielsweise NO_x , CO_y , KO_z und/oder CaO , die während der pyrotechnischen Umsetzung des pyrotechnischen Materials 3 entstehen. Es sei klar, dass vorwiegend Reste der Reaktionsprodukte aus Reaktionsstoff 9 und Reaktionspartnerstoff 11 vorliegen. Die Reste von Reaktionsstoff 9 und Reaktionspartnerstoff 11 selbst sind wenn überhaupt nur gering vorhanden, da die Stoffe 9, 11 sich während der Reaktion verbrauchen.

In analoger Weise kann der Steuerungsmechanismus durch eine auf die Wärmequelle 5 wirkende Beschleunigungskraftschwelle, insbesondere eine negative Beschleunigungskraftschwelle, realisiert sein. Beispielsweise kann ein abrupter Stoß bzw. Aufprall eine derartige, insbesondere negative, Beschleunigungskraftschwelle bilden. Die Wärmequelle 5 wird in Folge eines Überschreitens der Beschleunigungskraftschwelle dadurch aktiviert, dass dessen Gehäuse 7 durch die auf das Gehäuse 7 einwirkende Kraft zerbricht. Das Zerbrechen, Auflösen oder Zerplatzen des Gehäuses 7 resultiert in analoger Weise in einer Vermengung von Reaktionsstoff 9 und Reaktionspartnerstoff 11, was die zuvor beschriebene Erwärmung des pyrotechnischen Materials 3 und die damit einhergehende Aktivierung des pyrotechnischen Antriebs 115 zur Folge hat. Die Auslösung der pyrotechnischen Trenneinrichtung 100 hat zur Folge, dass die elektrische Leitung 103 mittels der Kappmechanik 117 gekappt wird. Wie in Figur 2 abgebildet ist, durchtrennt die Kappmechanik 117 die elektrische Leitung 103 dadurch, dass ein Leitungsabschnitt 153 von der restlichen Leitung 103 abgetrennt wird und in den distalen Randbereich 109 des Gehäuses 105 verschoben wird. Ist die Kappmechanik aus einem elektrisch nichtleitenden Material, wie Kunststoff, hergestellt, fungiert die Kappmechanik als Art Isolator zwischen den einander zugewandten elektrischen Leitungsenden 155, 157.

In Bezug auf die beispielhaften, gemäß beiliegenden Figurenseiten dargestellten Ausführungsformen ist anzumerken, dass die pyrotechnische Trenneinrichtung 100, der pyrotechnische Antrieb 115 und das System 1 in deren Abmessungen skalierbar sind, vorzugsweise um unterschiedlich dimensionierte (elektrische) Leitungen 103 zu kappen bzw. unterschiedlich große pyrotechnische Energieabgabemengen bereitzustellen. Des Weiteren ist auch deren äußere Form, insbesondere Querschnittsabmessung, nicht auf eine bestimmte

Form und/oder Abmessung beschränkt, sondern kann je nach Anwendungsfall bzw. Einbausituation beispielsweise der pyrotechnischen Trenneinrichtung 100 in bzw. an einem nicht dargestellten Elektrogerät angepasst werden. Der Durchgangskanal 111 ist derart zu bemessen und dabei an die äußeren Abmessungen der elektrischen Leitung 103 anzupassen, dass die elektrische Leitung 103 durch den Durchgangskanal 111 hindurchgeführt werden kann.

In Bezug auf die Figuren 3 und 4 wird eine weitere beispielhafte Ausführung eines erfindungsgemäßen Systems 1 erläutert, das in eine pyrotechnische Trenneinrichtung 100 integriert ist, die im Wesentlichen gleich aufgebaut ist, wie die der Figuren 1 bzw. 2.

Gemäß der Ausführungsform der Figuren 3 und 4 umfasst das System 1 den pyrotechnischen Antrieb 115. Im Unterschied zu der Ausführungsform gemäß der Figuren 1 und 2 umfasst der pyrotechnische Antrieb 115 ein mechanisches Anzündhütchen 159 zum Bereitstellen einer pyrotechnischen Gasexpansion. Das mechanische Anzündhütchen 149 ist im Bereich des Flanschabschnitts 127 angeordnet, der im Vergleich zu der Ausführungsform gemäß der Figuren 1 und 2 in Längserstreckungsrichtung der Kammer 121 bzw. des Gehäuses 105 und/oder in Bewegungsrichtung der Kappmechanik 117 größer dimensioniert ist. Dem pyrotechnischen Antrieb zugewandt weist der Flanschabschnitt 127 einen in Radialrichtung zurückspringenden Ringauflageabschnitt 161 auf, auf dem das mechanische Anzündhütchen 159 aufliegt. Das Anzündhütchen 159 ist axial in Position gehalten durch ein vorgespanntes, insbesondere federvorgespanntes, Kraftübertragungsteil, welches durch einen Schlagbolzen 163 mit einem nasenartigen, konvex gekrümmten Vorsprung 165, der in Richtung des mechanischen Anzündhütchens 159 weist, gebildet ist. Der Schlagbolzen 163 besitzt eine im Wesentlichen u-förmige Struktur, wobei zwischen zwei gegenüberliegenden Schenkeln 167 und 169 ein Aufnahmeraum gebildet ist, in dem der Kraftspeicher 15 teilweise aufgenommen ist.

Der Kraftspeicher 15 kann beispielsweise durch die zuvor beschriebene Wärmequelle 5 gebildet sein. Die Schenkel 167, 169 des Schlagbolzens 163 umgeben ein vorderseitiges Ende 17 des Kraftspeichers 15, der ein rückseitiges Ende 19 aufweist, welches von einem axial bezüglich des Schlagbolzens 163 abgesetzten beweglichen Beschleunigungsteil 171 umgeben ist. Das Beschleunigungsteil 171 umfasst eine wenigstens teilweise hohlzylindrische Struktur. Zusammen mit dem Schlagbolzen 163 bildet das Beschleunigungsteil 171 das Kraftübertragungsteil des Steuerungsmechanismus. An einer in Richtung Bodenteil 141 weisenden Stirnseite 173 des Beschleunigungsteils 171 stützt sich eine Feder, beispielsweise eine Spiral-Druckfeder 175, ab, welche für die Federvorspannung des Kraftübertragungsteils

163 verantwortlich ist. Die Spiral-Druckfeder 175 stützt sich außerdem an einer in das Kammerinnere weisenden Stirnseite 177 des Bodenteils 141 ab.

In Figur 3 ist eine eingedrückte, vorgespannte Stellung der Spiral-Druckfeder 175 gezeigt, in welcher Energie gespeichert ist. Im Unterschied zu der Ausführung gemäß der Figuren 1 und 2 ist bei der Ausführung gemäß der Figuren 3 und 4 in der Kammer 121 kein pyrotechnisches Material 3 angeordnet. Die pyrotechnische Gasexpansion wird gemäß der Ausführung der Figuren 3 und 4 ausschließlich durch das mechanische Anzündhütchen 159 erzeugt. Der Steuerungsmechanismus gemäß der Ausführungsform nach den Figuren 3 und 4 ist derart ausgelegt, dass er den pyrotechnischen Antrieb 115 dann auslöst, wenn ein auf den Steuerungsmechanismus wirkender, kinetischer und/oder thermischer Energieeintrag eine vorbestimmte Energieeintragsschwelle überschreitet. Bei Überschreiten der vorbestimmten Energieeintragsschwelle wird der pyrotechnische Antrieb 115 dadurch aktiviert, dass die Vorspannung der Spiral-Druckfeder 175 vorzugsweise schlagartig aufgehoben wird und die gespeicherte Energie vorzugsweise schlagartig freigegeben wird, sodass der Schlagbolzen 163 auf das mechanische Anzündhütchen 159 aufschlägt, um dieses zu aktivieren. Die Aktivierung des mechanischen Anzündhütchens bewirkt die pyrotechnische Gasexpansion (Figur 4), welche wiederum, wie es bereits in Bezug auf die Figuren 1 und 2 beschrieben wurde, die Kappmechanik 117 antreibt, um beispielsweise die elektrische Leitung 103 zu durchtrennen. Die Aktivierung des mechanischen Anzündhütchens 159 erfolgt dadurch, dass das von dem Kraftspeicher 15 in Position und in einem Abstand zu dem Schlagbolzen 163 gehaltene und durch die Spiral-Druckfeder 175 in Richtung des Schlagbolzens 163 vorgespannte Beschleunigungsteil 171 betätigt wird. Dies kann dadurch erfolgen, dass die Energieeintragsschwelle durch eine auf den Kraftspeicher 15 wirkende Beschleunigungskraft, insbesondere negative Beschleunigungskraft, realisiert ist. Beispielsweise kann die Beschleunigungskraftschwelle durch einen abrupten Sturz bzw. Aufprall hervorgerufen werden. In Folge des Überschreitens der Beschleunigungskraftschwelle gibt der Kraftspeicher das Beschleunigungsteil 171 frei, sodass dieses durch die Spiral-Druckfeder 175 beschleunigt wird und auf den Schlagbolzen 163 auftrifft, welcher dann auf das mechanische Anzündhütchen 159 aufschlägt, um dieses zu aktivieren. Beispielsweise besitzt der Kraftspeicher 15 ein Gehäuse, beispielsweise aus Glas, Kunststoff oder Metall, insbesondere aus einer Metall-Legierung, wie Rosescher Legierung. Wird also die Beschleunigungskraftschwelle überschritten, zerspringt das Gehäuse 7 des Kraftspeichers 15, was eine Kettenreaktion bewirkt: Freigeben der Vorspannkraft; axiales Beschleunigen des Beschleunigungsteils 171; Aufschlagen des Beschleunigungsteils 171 auf den Schlagbolzen 163; Aufschlagen des Schlagbolzens 163 auf das mechanische Anzündhütchen 159; Aktivieren des mechanischen Anzündhütchens 159 unter pyrotechnischer Gasexpansion; Betreiben der Kappmechanik 117 zum Durchtrennen der elektrischen Leitung 103 (Figur 4).

In analoger Weise kann der Steuerungsmechanismus auch durch eine thermische Energieeintragsschwelle bezüglich des Kraftspeichers 15 realisiert sein, sodass bei Überschreiten einer vorbestimmten Umgebungstemperatur des Kraftspeichers 15 der Kraftspeicher 15 in analoger Weise das Kraftübertragungsteil 163 freigibt. Beispielsweise kann dies dadurch erfolgen, dass das Gehäuse 7 des Kraftspeichers 15 bei Überschreiten der vorbestimmten Temperaturschwelle schmilzt, zerbricht bzw. sich teilweise auflöst, sodass das Beschleunigungsteil 171 in Folge der auf dieses wirkende Feder-Vorspannkraft durch die Spiral-Druck-Feder 175 in Richtung des Schlagbolzens 163 beschleunigt wird.

Die Ausführungsform gemäß der Figuren 5 und 6 entspricht im Wesentlichen der Ausführungsform der Figuren 3 und 4, wobei das System 1 zusätzlich ein elektrisches Auslöseelement 21 umfasst. In den Figuren 5 und 6 ist das elektrische Auslöseelement 21 als elektrisches Anzündhütchen ausgebildet. Das elektrische Anzündhütchen 21 umfasst elektrische Anschlussleitung 23, 25, über die das elektrische Anzündhütchen 21 elektrisch aktuiert ist. Die elektrische Auslösung des pyrotechnischen Antriebs 115 bzw. der pyrotechnischen Energieabgabe kennzeichnet sich dadurch, dass über die elektrische Initiierung ein Wärmeeintrag für das pyrotechnische Material 3, welches dem elektrischen Anzündhütchen 21 zugeordnet ist, bereitgestellt ist, sodass die Umsetztemperatur des pyrotechnischen Materials 3 überschritten wird, um dieses umzusetzen. Die elektrische Auslösung kann zusätzlich vorgesehen sein, um eine weitere Initiierungsoption für das Kappen der elektrischen Leitung 103 bereitzustellen.

Beispielsweise ist in dem Bodenteil 141 eine Durchgangsbohrung 179 eingebracht, durch die sich die elektrischen Anschlussleitungen 23, 25 hindurch erstrecken. Des Weiteren ist im Inneren des Bodenteils 21 eine hohle Hülse 181 beispielsweise aus Metall und/oder in Form eines Rings angeordnet, welche an einer bodenseitigen Stirnfläche 183 ebenfalls mit einer Durchgangsbohrung 185 zum Hindurchführen der elektrischen Anschlussleitungen 23, 25 vorgesehen ist. Im Inneren der Hülse 181 ist ein im Wesentlichen vollzylindrischer Körper 187 beispielsweise aus Glas angeordnet, in den die elektrischen Anschlussleitungen 23, 25 münden. Auf dem Körper 187 ist eine nicht näher dargestellte Zünd- bzw. Wärmebrücke 189 vorgesehen. Die Zünd- bzw. Wärmebrücke 189 ist beispielsweise als ohmscher Widerstand realisiert, der sich bei der elektrischen Initiierung des elektrischen Anzündhütchens 21 derart erhitzt, dass das pyrotechnische Material 3, welches auf der Zündbrücke 189 aufliegt bzw. in unmittelbarer Nähe dazu angeordnet ist, derart erwärmt wird, dass es sich umsetzt, um die pyrotechnische Gasexpansion zum Betreiben der Kappmechanik 117 zu generieren.

Des Weiteren ist es denkbar, dass über die elektrische Initiierung durch das elektrische Anzündhütchen 21 der Kraftspeicher 15 betätigt bzw. freigegeben wird, insbesondere zerstört wird (siehe Figur 6), sodass die in Bezug auf die Figuren 3 bis 4 beschriebene Kettenreaktion einhergehen kann. Gemäß der Ausführungsform der Figuren 5 und 6 ist zwischen Bodenstück 141 und Beschleunigungsteil 171 ein Adapterstück 191 angeordnet, welches im Wesentlichen hohlzylindrisch, jedoch im Querschnitt auch mehreckig oder elliptisch sein kann, ist, an dem sich die Spiral-Druckfeder 175 abstützt. Das Adapterstück 191 ist außenseitig an eine Innendimensionierung des Kammerinneren 121 angepasst. Das Adapterstück definiert in seinem Inneren einen trichterförmigen Abschnitt 193, der in eine im Wesentlichen zylindrische Bohrung bzw. Kanal 195 mündet, über den sich die pyrotechnische Gasexpansion gezielt in Richtung Kappmechanik 117 ausbreiten kann.

In den Figuren 7 und 8 ist eine weitere beispielhafte Ausführung einer pyrotechnischen Trenneinrichtung 100 mit einer weiteren Ausführung eines erfindungsgemäßen Systems 1 gezeigt, die im Wesentlichen der Ausführungsform gemäß der Figuren 1 und 2 entspricht, wobei das System 1 aus den Figuren 7 und 8 zusätzlich ein in Bezug auf die Figuren 5 und 6 beschriebenes elektrisches Anzündhütchen 21 aufweist, um die oben beschriebene zusätzliche elektrische Initiierungsoption bereitzustellen.

Tabelle 1: Liste der Chemikalien der Erfindung

Trivialname/Laborjargon	Klarname	CAS-Nummer
K-Benzanat (KDNBF)	Kalium Dinitrobenzofuroxanat (Kalium-Salz von 1,4-dihydro-5,7-dinitrobenzofurazan-4-ol 3-oxide)	29267-75-2
Diazol, Dinol, DDNP	Diazodinitrophenol	4682-03-5
Bleistyphnat, Trizinat	Blei-2,4,6-trinitroresorcinat	15245-44-0
Tetryl	N-Methyl-N-2,4,6-tetranitroanilin	479-45-8
Pikrazol	1-(2,4,6-Trinitrophenyl)-5-(1-(2,4,6-trinitrophenyl)-1 H-tetrazol-5-yl)-1 H-tetrazol	unbekannt
K/CaStyp	K/Ca 2,4,6-trinitrobenzene-1,3-bis(olate)	unbekannt
Glycerin	Propan-1,2,3-triol	56815
Ammoniumnitrat	NH ₄ NO ₃	6484-52-2
Ammoniumchlorid	NH ₄ Cl	12125-02-9
Lithium-Aluminium-Hydrid	LiAlH ₄	16853-85-3
Kaliumpermanganat	KMnO ₄	7722-64-7

Methanol	CH ₄ OH	67-56-1
----------	--------------------	---------

Die in der vorstehenden Beschreibung, den Figuren und den Ansprüchen offenbarten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Realisierung der Erfindung in den verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein.

Bezugszeichenliste

1	System
3	Pyrotechnikmaterial
5	Wärmequelle
7	Gehäuse
9	Reaktionsstoff
11	Reaktionspartnerstoff
13	Abgrenzung
15	Kraftspeicher
17, 19	Ende
21	Elektrisches Auslöseelement
23, 25	Elektrische Anschlussleitung
100	Pyrotechnische Trenneinrichtung
103	Elektrische Leitung
104	Isolationshülle
105	Gehäuse
106	Litze
107	Bodenwandung
109	Randbereich
111	Durchgangskanal
113	Öffnung
115	Pyrotechnischer Antrieb
117	Kappmechanik
119	Welle-Nabe-Verbindung
121	Kammer
123	Hülsenabschnitt
125	Dichtring
127	Radialflansch
129	Auflage
131, 133	Durchgangsöffnung
135	Zylinderabschnitt
137	Auflage
139	Montagehilfe

141	Bodenteil
143	Schraubverbindung
145	Dichtung
147	Ende
149	Kopf
151	Getriebe
153	Wärmequelle
155, 157	Leitungsende
159	Mechanisches Anzündhütchen
161	Ringsauflageabschnitt
163	Kraftübertragungsteil/Schlagbolzen
165	Vorsprung
167, 169	Schenkel
171	Kraftübertragungsteil/Beschleunigungsteil
173	Stirnseite
175	Druckfeder
177	Stirnseite
179	Durchgangsbohrung
181	Hülse
183	Stirnfläche
185	Durchgangsbohrung
187	Körper
189	Zünd- bzw. Wärmebrücke
191	Adapterstück
193	Trichterförmiger Abschnitt
195	Kanal