

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. Juli 2024 (18.07.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/149489 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F23C 9/00 (2006.01) F23N 5/24 (2006.01)
F23C 13/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/081117

(22) Internationales Anmeldedatum:
08. November 2023 (08.11.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 200 245.0
13. Januar 2023 (13.01.2023) DE

(71) Anmelder: **FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH** [DE/DE]; Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich (DE).

(72) Erfinder: **HAHN, Simon**; Schenkstraße 1, 91052 Erlangen (DE).

(74) Anwalt: **GILLE HRABAL PARTNERSCHAFTS-GESELLSCHAFT MBB PATENTANWÄLTE**; Brucknerstr. 20, 40593 Düsseldorf (DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR GENERATING HEAT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG VON WÄRME

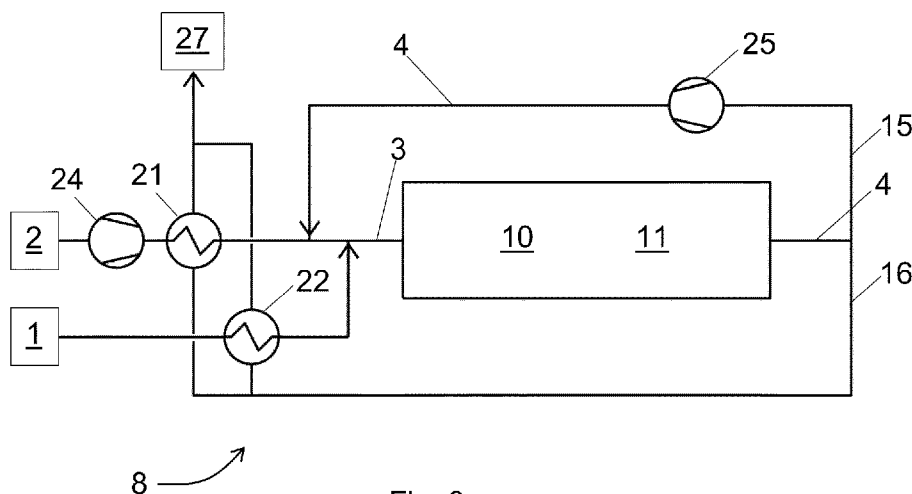


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for generating heat. In a method for generating heat, a mixture (3) comprising a gaseous fuel (1) and a gaseous oxidant (2) is produced. The fuel (1) is oxidized. The mixture (3) lies outside the explosive range; more specifically, the oxygen content of the mixture lies below the oxygen concentration limit. A particularly safe and technically simple method is thus provided.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wärme. Bei einem Verfahren zur Erzeugung von Wärme wird ein Gemisch (3) umfassend einen gasförmigen Brennstoff (1) und ein gasförmiges Oxidationsmittel (2) hergestellt. Der Brennstoff (1) wird oxidiert. Das Gemisch (3) befindet sich außerhalb des Explosionsbereichs, genauer der Sauerstoffanteil des Gemisches liegt unterhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration. Auf diese Weise wird ein besonders sicheres und technisch wenig aufwändiges Verfahren bereitgestellt.

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Wärme

Beschreibung

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wärme.

Zur Generierung von Prozesswärme können exotherme Reaktionen wie die Verbrennung genutzt werden. Üblicherweise werden Brennstoffe, z. B. wasserstoffhaltige Verbindungen wie C_xH_y , N_xH_y oder Wasserstoff selbst, H_2 , mit einem

- 10 Oxidationsmittel, z. B. Luftsauerstoff, verbrannt. Hierbei werden hohe Temperaturen des Verbrennungsgases erreicht, die größer als 1000 °C sein können. Die Temperatur hängt dabei von der Luftzahl λ ab. Die Luftzahl λ , auch als Verbrennungsluftverhältnis bezeichnet, gibt das Massenverhältnis von Luft zu Brennstoff relativ zum stöchiometrisch idealen Verhältnis für einen vollständigen Verbrennungsprozess an.

- 15 Die Verbrennung kann in einem Ofen erfolgen. Entstehendes heißes Gas kann die Wärme über einen Wärmeübertrager an einen sekundären Kreislauf (z. B. Wasser, Thermalöl, Prozessdampf) abgeben. Das heiße Medium leitet die benötigte Wärme in den jeweiligen Prozess ein, kühlt sich dabei ab und wird anschließend wieder erwärmt.

- 20 Aufgrund der hohen Temperaturen müssen die Materialien entsprechend hitzebeständig sein. Thermalöle werden aufgrund von hohen Filmtemperaturen beispielsweise stark beansprucht.

Brennstoffe bilden in oxidativer Atmosphäre in Abhängigkeit von brennstoffspezifischen Konzentrationsbereichen explosive Gemische. Ein Prozess mit explosiven Gemischen bedarf besonderer sicherheitstechnischer Einrichtungen und Überwachungen, was mit erhöhtem technischem Aufwand einhergeht. Maßnahmen des Explosionsschutz sind beispielsweise in den „technischen Regeln für Gefahrstoffe“ zusammengefasst.

- 30 Bei exothermen Prozessen können Temperaturen erreicht werden, bei denen sich das Gemisch selbst entzündet (Selbstentzündungstemperatur). Aus diesem Grund ist besonders wichtig, dass keine explosiven Gemische entstehen.

- Bei Gemischen unterhalb der unteren Explosionsgrenze liegt der Brennstoff in geringer
35 Konzentration vor. Der Luftüberschuss ist entsprechend groß. Dies führt zu einem geringen Wirkungsgrad. Die untere Explosionsgrenze sinkt weiter, wenn sich die

Temperatur beispielsweise durch Vorheizen erhöht, sodass der Wirkungsgrad weiter verringert wird. Zudem werden derart große Luftvolumenströme benötigt, dass Gebläse und Wärmeübertrager sehr groß dimensioniert werden müssen.

- 5 Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung bereitzustellen, mit denen auf besonders effiziente und sichere Art Wärme erzeugt werden kann.

Die Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren gemäß Anspruch 1 und die Vorrichtung gemäß dem nebengeordneten Anspruch. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den
10 Unteransprüchen angegeben.

Zur Lösung der Aufgabe dient ein Verfahren zur Erzeugung von Wärme, bei dem ein Gemisch hergestellt wird. Das Gemisch umfasst einen gasförmigen Brennstoff und ein gasförmiges Oxidationsmittel. Das Gemisch kann zudem eines oder mehrere inerte
15 Gase umfassen. Der Brennstoff wird oxidiert, insbesondere mittels des Oxidationsmittels. Die Sauerstoffkonzentration des Gemischs befindet sich unterhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration.

Der explosive Bereich oder Explosionsbereich ist der Bereich an
20 Mischungsverhältnissen von Brennstoff, Oxidationsmittel und ggf. Inertgasen, in dem das Gemisch aus Brennstoff, Oxidationsmittel und ggf. inertem Gas explosiv ist. Das Gemisch befindet sich außerhalb des explosiven Bereichs, und zwar befindet sich die Sauerstoffkonzentration des Gemischs unterhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration. Die Sauerstoffgrenzkonzentration gibt den Sauerstoffanteil an, unterhalb dessen ein
25 Gesamtgemisch nicht mehr explosionsfähig ist. Es ist nicht genügend Sauerstoff vorhanden, um eine Explosion zu ermöglichen. Somit kann sich eine von der Zündquelle unabhängige Flamme nicht mehr selbstständig fortpflanzen. Insbesondere ist an keiner Stelle des Verfahrens ein explosives Gemisch vorhanden. Auf diese Weise kann der technische Aufwand maßgeblich verringert werden. Gleichzeitig kann
30 auf einfache und effektive Weise die Sicherheit gewährleistet werden.

Der Brennstoff ist ein gasförmiger Brennstoff, der mit Sauerstoff oder Luft oxidieren kann. Beispielsweise kann es sich um Wasserstoff, eine Verbindung der allgemeinen Formel C_xH_y , beispielsweise Methan, oder eine Verbindung der allgemeinen Formel
35 N_xH_y handeln. Mischungen sind ebenso möglich. Der Brennstoff kann zudem in beliebigem Mischungsverhältnis mit einem oder mehreren anderen Gasen vorliegen,

die inert sein können. Das Oxidationsmittel kann beispielsweise Sauerstoff sein oder enthalten. Auch das Oxidationsmittel kann in beliebigem Verhältnis mit einem oder mehreren anderen Gasen vorliegen, die inert sein können.

- 5 Eine Möglichkeit besteht darin, den Brennstoff oder das Oxidationsmittel stufenweise zu dosieren. So kann die Entstehung eines explosiven Gemischs verhindert werden. Für Wasserstoff sind bei einer vollständigen Umsetzung mit Luftsauerstoff bei einer globalen Luftzahl von $\lambda = 1$ etwa 10 Stufen notwendig, in denen jeweils ca. 2% Sauerstoff verbraucht würden. Der apparative Aufwand ist allerdings recht hoch.

10

Die Erfindung schafft es aufgrund des Gemischs mit einem Sauerstoffanteil unterhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration, eine globale Luftzahl λ von 1 zu erreichen. Es wird also nur so viel Luft im Prozess benötigt, wie durch die Stöchiometrie der Oxidationsreaktion vorgegeben ist.

15

In einer Ausgestaltung erfolgt die Oxidation als heterogene Katalyse mit einem Katalysator.

20

Bei der heterogenen Katalyse liegen der Katalysator und die reagierenden Stoffe der chemischen Reaktion in unterschiedlichen Phasen vor. Insbesondere ist der Katalysator ein Feststoff. Insbesondere ist die Katalyse eine Gasphasenkatalyse. Dabei liegen der Brennstoff und das Oxidationsmittel als Gas vor. Eine katalytische Oxidation wird auch als katalytische Verbrennung bezeichnet. Die katalytische Oxidation ist eine exotherme Reaktion, bei der nutzbare Wärme anfällt.

25

In einer katalytischen Wärmeübertragereinheit ist das Volumen, welches das Gemisch aus Brennstoff und Oxidationsmittel einnimmt, apparatebedingt relativ groß, so dass eine Zündung und Explosion im Falle eines explosiven Gemischs potenziell verheerende Auswirkungen hätten. Das Gemisch mit einem Sauerstoffanteil unterhalb
30 der Sauerstoffgrenzkonzentration ist also in Verbindung mit der Katalyse besonders vorteilhaft.

35

Insbesondere wird eine mit Katalysator beschichtete, typischerweise dreidimensionale Struktur verwendet. Bevorzugt ist die Struktur so optimiert, dass ein möglichst geringer Druckverlust auftritt. Bevorzugt ist die Struktur so optimiert, dass die entstehende Wärme gut abgeleitet werden kann.

In einer Ausgestaltung steht der Katalysator in thermischem Kontakt mit einem Wärmeableiter. Auf diese Weise kann entstehende Wärme direkt auf den Wärmeableiter übertragen werden.

5

Es ist nicht notwendig, die Wärme aus dem Heißgas oder einer Brennkammer zu verwenden oder abzuleiten. Es wird kein Wärmeträgermedium wie beispielsweise Wasser, Thermalöl oder Prozessdampf benötigt. Es ist daher kein sekundärer Kreislauf nötig, um die Wärme ab- und weiterzuleiten. Die Wärmeübertragung kann direkt vom Katalysator an den Wärmeableiter erfolgen. Der Wärmeableiter kann die mit Katalysator beschichtete Struktur sein oder mit einer solchen Struktur thermisch verbunden sein. Insbesondere erfolgt die Katalyse direkt an der Oberfläche des Wärmeableiters. Die Wärme kann demnach direkt von der Oberfläche des Katalysators ab- und weitergeleitet werden. Zudem werden bei der Katalyse im Vergleich zu herkömmlichen Verbrennungsprozessen deutlich geringere Temperaturen erreicht. Somit ist der apparatetechnische Aufwand signifikant reduziert. Es ist keine Auslegung auf die bei der herkömmlichen Verbrennung auftretenden Temperaturen notwendig.

Ein Wärmeableiter ist ein Gegenstand, der die Wärme ableitet. Beispielsweise kann das Verfahren zum Heizen eines Raums verwendet werden. Insbesondere gibt der Wärmeableiter die Wärme direkt an den zu erwärmenden Bereich bzw. die zu erwärmende Einrichtung weiter.

Insbesondere ist der Wärmeableiter ein Wärmeübertrager. Ein Wärmeübertrager ist dazu eingerichtet, Wärme vom Katalysator zu einem anderen Ort zu leiten. Die Wärme wird also direkt vom Katalysator abgeleitet, was eine unmittelbare Kontrolle und/oder Steuerung der Prozesstemperatur ermöglicht. Zudem kann die Wärme ohne weiteren Wechsel des Wärmeträgers an den Ort transportiert werden, an dem sie benötigt wird. So kann eine Wärmeübertragung sichergestellt werden, die einerseits apparatetechnisch besonders einfach ist und andererseits besonders geringe Verluste mit sich bringt. Durch weniger Wärmeübergänge wird eine hohe Effizienz des Verfahrens erreicht.

Insbesondere ist der Katalysator ein Feststoff. Insbesondere steht der Katalysator in mechanischem Kontakt mit dem Wärmeableiter. Es kann sich um einen direkten oder

einen indirekten mechanischen Kontakt handeln. Die Wärme kann so durch Wärmeleitung vom Katalysator an den Wärmeableiter übertragen werden.

5 In einer Ausgestaltung wird zur Herstellung des Gemischs ferner ein rezirkuliertes Produktgas verwendet.

Ein Produktgas ist ein bei der Oxidation entstehendes Gas. Insbesondere ist das Produktgas ein Verbrennungsprodukt. Typischerweise ist das Produktgas inert. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn in der Oxidation ein vollständiger stöchiometrischer
10 Umsatz stattfindet. Insbesondere wird durch die Rezirkulation eine Konzentration des Oxidationsmittels und/oder des Brennstoffs reduziert. Das Gemisch enthält demnach Brennstoff, Oxidationsmittel und Produktgas. Bevorzugt wird durch die Rezirkulation die Sauerstoffkonzentration derart verringert, dass diese unterhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration liegt. Ein rezirkuliertes Produktgas ist ein Produktgas,
15 das aus der Oxidation stammt, insbesondere als Produkt der Oxidation entsteht, und zurückgeführt wird, um erneut in die Oxidation hineingeführt zu werden.

In einer Ausführungsform erfolgt die Herstellung des Gemischs und/oder die Oxidation kontinuierlich. Es handelt sich typischerweise um ein kontinuierliches Verfahren.
20

In einer Ausgestaltung wird ein Produktgasstrom aufgeteilt. Ein erster Teil wird rezirkuliert und ein zweiter Teil gibt Wärme an den Brennstoff und/oder das Oxidationsmittel ab.

25 Der erste Teil wird also dem Zustrom zur Oxidation zudosiert. Der zweite Teil wird verwendet, um den Brennstoff und/oder das Oxidationsmittel vorzuwärmen. Insbesondere ist hierfür zumindest ein Wärmeübertrager vorhanden. Insbesondere erfolgt das Vorwärmen vor der Herstellung des Gemischs. Der zweite Teil wird nach dem Vorwärmen als Abgas abgegeben.

30 In einer Ausgestaltung wird der erste Teil durch ein Gebläse gefördert. Auf diese Weise kann der Rezirkulationsstrom gezielt gefördert und/oder gesteuert werden.

In einer Ausgestaltung wird der erste Teil in eine Zuleitung des Oxidationsmittels
35 geleitet. Auf diese Weise kann zunächst das Oxidationsmittel derart verdünnt werden, dass kein explosives Gemisch entstehen kann. Dies ermöglicht beispielsweise ein

sicheres Anfahren eines das Verfahren durchführenden Reaktors, bei dem bei vollständiger Zufuhr des Oxidationsmittels und vollständiger Rezirkulation der Brennstoff langsam zudosiert wird, um so den Sauerstoff vollständig zu verbrauchen.

- 5 In einer Ausgestaltung werden sowohl der Brennstoff als auch das Oxidationsmittel durch Wärme aus Produktgas erwärmt. Insbesondere erfolgt die Erwärmung des Brennstoffs räumlich getrennt von der Erwärmung des Oxidationsmittels. Mit anderen Worten finden zwei separate Erwärmungsprozesse statt. In einer Ausgestaltung wird der zweite Teil des Produktgasstroms aufgeteilt, um den Brennstoff und das
10 Oxidationsmittel mittels separater Ströme des Produktgases zu erwärmen.

In einer Ausgestaltung wird nach der Erwärmung des Brennstoffs und des Oxidationsmittels das Gemisch hergestellt. In einer Ausgestaltung wird als Oxidationsmittel Luft verwendet. Dies ermöglicht einen minimalen technischen
15 Aufwand.

In einer Ausgestaltung erfolgt die Oxidation bei einer Temperatur unterhalb von 500°C, insbesondere unterhalb von 400°C und/oder oberhalb von 100°C, insbesondere oberhalb von 200°C. Bei diesen Temperaturen kann eine besonders effiziente
20 katalytische Verbrennung erfolgen.

In einer Ausgestaltung erfolgt die Oxidation zumindest im Wesentlichen stöchiometrisch, sodass ein im Wesentlichen inertes Produktgas entsteht.

- 25 Hierdurch ergibt sich der weitere Vorteil, dass aufgrund des hohen Wasserdampfanteils im Abgas die Kondensationswärme des Wassers genutzt werden kann. Auf diese Weise kann der Wirkungsgrad weiter gesteigert werden. Insbesondere umfasst die Vorrichtung eine Einrichtung zum Auffangen und/oder Abführen des Kondensats.

30

Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wärme. Die Vorrichtung umfasst eine Zuleitung für gasförmigen Brennstoff, eine Zuleitung für gasförmiges Oxidationsmittel, einen Oxidationsreaktor zum Oxidieren des Brennstoffs mit dem Oxidationsmittel und/oder eine Ableitung für Produktgas. Die Vorrichtung
35 umfasst ferner eine Mischeinrichtung, die so eingerichtet ist, dass ein Gemisch aus dem Brennstoff und dem Oxidationsmittel herstellbar ist, wobei sich die

Sauerstoffkonzentration des Gemischs außerhalb des Explosionsbereichs befindet, insbesondere unterhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration

Die Vorrichtung ist insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet. Alle Merkmale, Eigenschaften und Vorteile des oben beschriebenen Verfahrens gelten ebenso für die Vorrichtung und umgekehrt.

In einer Ausgestaltung beinhaltet der Oxidationsreaktor einen Katalysator, insbesondere für eine heterogene Katalyse.

10

In einer Ausführungsform wird das Verfahren und/oder die Vorrichtung verwendet, um Wärme für eine von der Wärmeerzeugung separate, endotherme Reaktion bereitzustellen, beispielsweise zum Cracken von Ammoniak. In einer anderen Ausführungsform wird das Verfahren und/oder die Vorrichtung verwendet, um Brennstoff zu beseitigen.

15

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung auch anhand von Figuren näher erläutert. Merkmale der Ausführungsbeispiele können einzeln oder in einer Mehrzahl mit den beanspruchten Gegenständen kombiniert werden, sofern nichts Gegenteiliges angegeben ist. Die beanspruchten Schutzbereiche sind nicht auf die Ausführungsbeispiele beschränkt.

20

Es zeigen:

Figur 1: Wirkungsgrade bei vollständiger Verbrennung für verschiedene Luftzahlen,

25

Figur 2: ein Dreiecksdiagramm des explosiven Bereichs, sowie

Figur 3: eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Figur 1 zeigt unterschiedliche Wirkungsgrade einer vollständigen Verbrennung von Wasserstoff mit Luft gemäß der Reaktion $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$. Dargestellt sind die Wirkungsgrade η bezüglich des Heizwertes in Abhängigkeit der Abgastemperatur T in °C für unterschiedliche Luftzahlen λ . Diese Wirkungsgrade sind unabhängig von der Art der Verbrennung und gelten für herkömmliche Verbrennungsprozesse ebenso wie für eine katalytische Verbrennung. Wirkungsgrade oberhalb von 100 % werden aufgrund der Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfs erzielt. Die Berechnungen gelten für eine Umgebungstemperatur von 20 °C.

30

35

Die untere Explosionsgrenze (UEG) für Wasserstoff in Luft bei einem Bar Atmosphärendruck beträgt bei 20° 4,0 %, bei 100° 3,4 %, bei 200° 2,9 %, bei 300° 2,1 % und bei 400° 1,5 %.

5

Um bei einem „mageren Gemisch“ ein nicht-explosives Wasserstoff-Luft-Gemisch zu erhalten, muss bei 20 °C die Wasserstoffkonzentration kleiner als 4 % sein. In diesem Fall ist die Luftzahl λ mindestens 10. Wie aus den oben genannten Werten ersichtlich ist, sinkt die UEG bei höheren Temperaturen weiter, so dass noch größere Luftzahlen λ benötigt werden. Höhere Temperaturen ergeben sich beispielsweise bei einem Vorheizen des Brennstoffs und/oder des Oxidationsmittels. Aus Figur 1 ist ersichtlich, dass schon bei einer Luftzahl λ von 10 und insbesondere bei noch höheren Luftzahlen λ deutliche Einbußen des Wirkungsgrads η auftreten. Für eine Abgastemperatur von 50 °C liegt der theoretische Wirkungsgrad für $\lambda = 20$ bei lediglich 82 % des Heizwertes. Dies zeigt, dass mit zu mageren Gemischen unterhalb der UEG deutliche Nachteile einhergehen.

Figur 2 zeigt ein Dreiecksdiagramm, auch als ternäres Diagramm bezeichnet, in dem der explosive Bereich 30 bei einer Mischung aus Wasserstoff, Luft und einem inerten Gas, beispielsweise einem rezirkulierten Produktgas, dargestellt ist. Das Inertgas ist beispielsweise zusammengesetzt aus 35 % Wasserdampf und 65 % N₂, was der Zusammensetzung des Produktgases bei einer stöchiometrischen Umsetzung entspricht. Auf den Achsen sind der prozentuale Wasserstoffanteil 31, der prozentuale Luftanteil 32 und der prozentuale Inertgasanteil 33 aufgetragen.

25

Ein Großteil der Fläche im Dreieck wird durch den explosiven Bereich 30 eingenommen. Lediglich ein Streifen auf der rechten Seite und ein sehr schmaler Streifen unten liegen außerhalb des explosiven Bereichs 30. Ein besonders vorteilhaftes Prozessfenster 35 ist unten rechts eingezeichnet. In dem vorteilhaften Prozessfenster 35 ist der Luftanteil 32 typischerweise kleiner als 15 %, der Wasserstoffanteil 31 ist kleiner als 5% und/oder der Inertgasanteil 33 ist größer als 80 %.

Erfindungsgemäß befindet sich die Sauerstoffkonzentration des Gemischs unterhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration. Mit anderen Worten ist der sicherheitstechnisch ausschlaggebende Parameter nicht wie in herkömmlichen Verfahren die

35

Brennstoffkonzentration in Bezug zur oberen oder unteren Explosionsgrenze, sondern die Sauerstoffkonzentration, typischerweise in Bezug zur Sauerstoffgrenzkonzentration. Beispielsweise kann mit 300 °C ein stöchiometrisches Verhältnis von 4 % H₂ und 2 % O₂ aus Luft vorliegen, ohne im Explosionsbereich zu sein. Maximal wären hier 2,1 % H₂ in Luft möglich. Es zeigt sich, dass aufgrund des erfindungsgemäßen sauerstoffarmen Gemischs, verglichen mit dem einfachen Gemisch aus Brennstoff und Luft, außerhalb des Explosionsbereichs höhere Brennstoffkonzentrationen möglich sind.

Figur 3 zeigt ein Prozessdiagramm einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 zu Erzeugung von Wärme. Der Oxidationsreaktor 10 ist als Katalysator 11 ausgestaltet. Ein Oxidationsmittel 2, beispielsweise Luft, wird über eine erste Leitung mittels eines optionalen ersten Gebläses zum Oxidationsreaktor 10 gefördert. Über eine zweite Leitung wird Brennstoff 1 in die erste Leitung dosiert, sodass am Kreuzungspunkt der ersten Leitung mit der zweiten Leitung ein Gemisch 3 aus dem Brennstoff 1 und dem Oxidationsmittel 2 hergestellt wird. Der Kreuzungspunkt dient somit als Mischeinrichtung.

Bei der Oxidation im Katalysator 11 entsteht ein Produktgas 4. Dieses ist insbesondere inert. Der Produktgasstrom wird aufgeteilt in einen ersten Teil 15 und einen zweiten Teil 16. Der erste Teil 15 wird mittels eines optionalen zweiten Gebläses 25 in die erste Leitung zurückgeführt bzw. rezirkuliert, und zwar bevorzugt vor dem Kreuzungspunkt der ersten Leitung mit der zweiten Leitung. Das zuströmende Oxidationsmittel 2 wird dementsprechend zuerst mit dem inerten Produktgas 4 verdünnt, bevor der Brennstoff 1 hinzukommt. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Sauerstoffkonzentration jederzeit gering ist.

Auch der zweite Teil 16 des Produktgases 4 wird bevorzugt aufgeteilt. Ein erster Anteil des zweiten Teils 16 wird in einem ersten Wärmeübertrager 21 genutzt, um das Oxidationsmittel 2 zu erwärmen. In der hier gezeigten Ausführungsform befindet sich der erste Wärmeübertrager 21 zwischen dem ersten Gebläse 24 und der Einmündung des rezirkulierten Produktgases 4 in die erste Leitung. Abweichend davon kann der erste Wärmeübertrager 21 aber ebenso vor dem ersten Gebläse 24 angeordnet sein. Mit anderen Worten wird bei der Katalyse entstehende Wärme verwendet, um das Oxidationsmittel zu erwärmen. Beispielsweise wird Luft, insbesondere ein Luftstrom, erwärmt. Insbesondere erfolgt dies in einem Wärmeübertrager. Die getrennte

Erwärmung von Brennstoff 1 und Oxidationsmittel 2 trägt dazu bei, dass zu keiner Zeit ein explosives Gemisch vorliegt.

5 Ein zweiter Anteil des zweiten Teils 16 wird in einem zweiten Wärmeübertrager 22 genutzt, um den Brennstoff 1 zu erwärmen. Typischerweise befindet sich der zweite Wärmeübertrager 22 vor dem Kreuzungspunkt der ersten Leitung mit der zweiten Leitung.

10 Es zeigt sich, dass ohne wesentlichen zusätzlichen technischen Aufwand ein Prozess mit einem hohen Wirkungsgrad realisiert werden kann, der gleichzeitig hohe Anforderungen an die Sicherheit erfüllt.

Bezugszeichenliste

15	Brennstoff	1
	Oxidationsmittel	2
	Gemisch	3
	Produktgas	4
	Vorrichtung	8
20	Oxidationsreaktor	10
	Katalysator	11
	Wärmeableiter	12
	Erster Teil	15
	Zweiter Teil	16
25	Erster Wärmeübertrager	21
	Zweiter Wärmeübertrager	22
	Erstes Gebläse	24
	Zweites Gebläse	25
	Abgas	27
30	Wirkungsgrad	η
	Produktgastemperatur	T
	Explosiver Bereich	30
	Wasserstoffanteil	31
	Luftanteil	32
35	Inertgasanteil	33
	Prozessfenster	35

Ansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Wärme, bei dem ein Gemisch (3) umfassend einen gasförmigen Brennstoff (1) und ein gasförmiges Oxidationsmittel (2) hergestellt wird und der Brennstoff (1) oxidiert wird, wobei sich die Sauerstoffkonzentration des Gemisches (3) unterhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration befindet.
5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oxidation als heterogene Katalyse mit einem Katalysator (11) erfolgt.
10
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Katalysator (11) in thermischem Kontakt mit einem Wärmeableiter (12) steht, sodass entstehende Wärme direkt auf den Wärmeableiter (12) übertragen wird.
15
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Herstellung des Gemisches (3) ferner ein rezirkuliertes Produktgas (4) verwendet wird.
5. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass ein Strom aus Produktgas (4) aufgeteilt wird, wobei ein erster Teil (15) rezirkuliert wird und ein zweiter Teil (16) Wärme an den Brennstoff (1) und/oder das Oxidationsmittel (2) abgibt.
20
6. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Teil (15) durch ein Gebläse gefördert wird.
25
7. Verfahren nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Teil (15) in eine Zuleitung des Oxidationsmittels (2) geleitet wird.
30
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl der Brennstoff (1) als auch das Oxidationsmittel (2) durch Wärme aus Produktgas (4) erwärmt werden.
35

9. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Erwärmung des Brennstoffs (1) und des Oxidationsmittels (2) das Gemisch (3) hergestellt wird.

5 10. Verfahren nach Anspruch 5 und Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Teil (16) des Stroms aus Produktgas (4) aufgeteilt wird, um den Brennstoff (1) und das Oxidationsmittel (2) mittels separater Ströme des Produktgases (4) zu erwärmen.

10 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Oxidationsmittel (2) Luft verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oxidation bei einer Temperatur unterhalb von 500°C, insbesondere unterhalb von 400°C und/oder oberhalb von 100°C, insbesondere
15 oberhalb von 200°C erfolgt.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oxidation zumindest im Wesentlichen stöchiometrisch erfolgt, sodass ein im Wesentlichen inertes Produktgas (4) entsteht.
20

14. Vorrichtung zur Erzeugung von Wärme, umfassend eine Zuleitung für gasförmigen Brennstoff (1), eine Zuleitung für gasförmiges Oxidationsmittel (2),
25 einen Oxidationsreaktor (10) zum Oxidieren des Brennstoffs (1) mit dem Oxidationsmittel (2) und eine Ableitung für Produktgas (4), wobei die Vorrichtung ferner eine Mischeinrichtung aufweist, die so eingerichtet ist, dass ein Gemisch (3) aus dem Brennstoff (1) und dem Oxidationsmittel (2) herstellbar ist, wobei sich die Sauerstoffkonzentration des Gemischs unterhalb
30 der Sauerstoffgrenzkonzentration befindet.

15. Vorrichtung (8) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidationsreaktor (10) einen Katalysator (11) für eine heterogene Katalyse enthält.

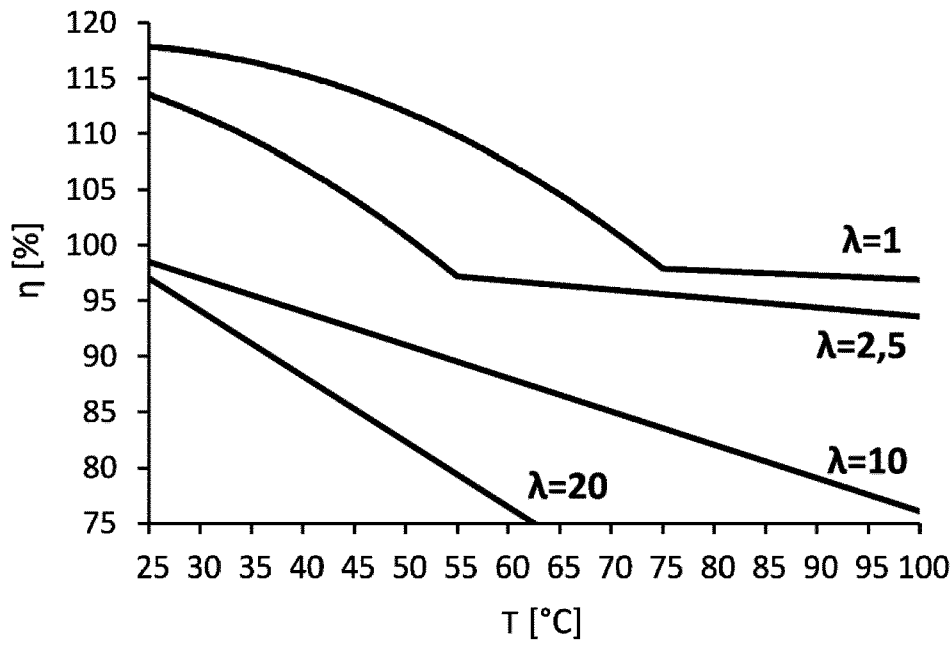


Fig. 1

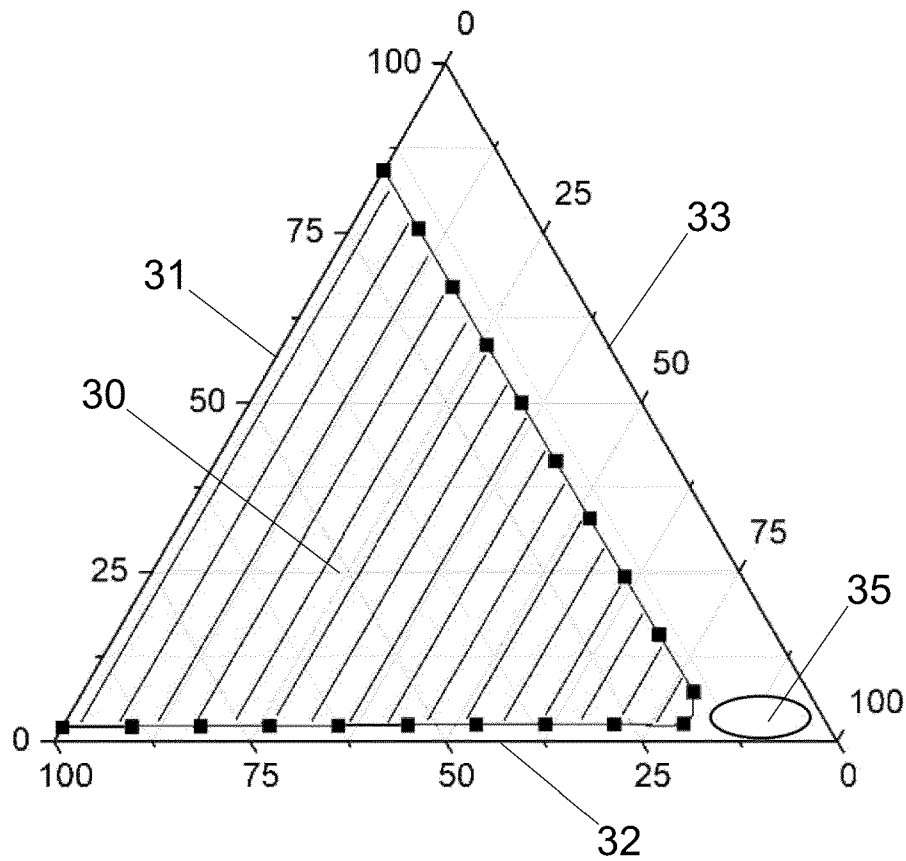


Fig. 2

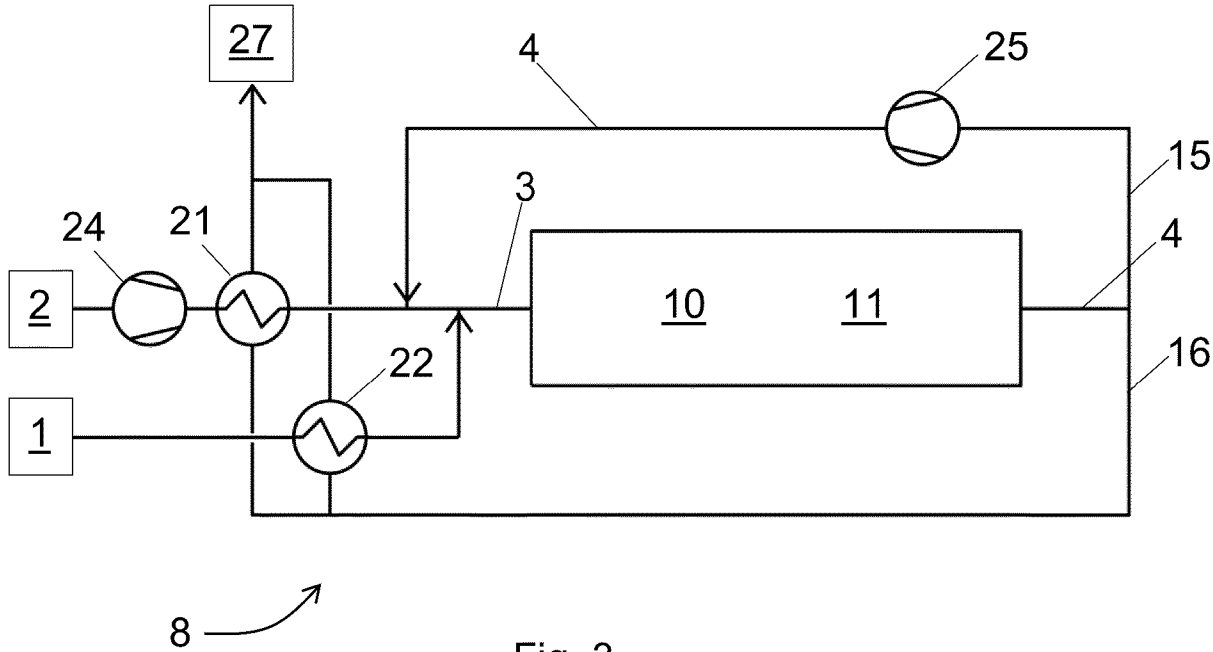


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/081117

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F23C 9/00**(2006.01)i; **F23C 13/00**(2006.01)i; **F23N 5/24**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F23C; F23N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	EP 1650499 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 26 April 2006 (2006-04-26) paragraph [0001]; figures 1, 2 paragraphs [0006] - [0008] paragraph [0016] - paragraph [0020] paragraph [0027] - paragraph [0029]	1-3,11,12,14,15 4-10,13
A	US 2004025805 A1 (KAYAHARA TOSHIHIRO [JP] ET AL) 12 February 2004 (2004-02-12) paragraph [0001]; figure 1 paragraphs [0041], [0045] - [0049] paragraphs [0076], [0078], [0079] paragraph [0089] - paragraph [0092] paragraph [0095] - paragraph [0100]	4-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 January 2024

Date of mailing of the international search report

19 January 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Hauck, Gunther

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/081117

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008104859 A2 (EASY INTERNAT S R L [IT]; ABATE VALERIO [IT] ET AL.) 04 September 2008 (2008-09-04) page 1, line 4 - line 8; figures 1-3 page 3, lines 4-7, 9-11 page 4, line 8 - page 5, line 19 page 6, line 16 - line 22 page 7, line 6 - line 22 page 8, line 10 - page 9, line 8	1, 13
T	Anonymous. "TRGS 720: Gefährliche explosionsfähige Gemische - Allgemeines, 2 Begriffsbestimmungen" 10 January 2022 (2022-01-10), Retrieved from the Internet: https://vorschriften.bgn-branchenwissen.de/daten/tr/trgs720/2.htm#23 [retrieved on 2024-01-10] XP093117956 the whole document	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/081117

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	1650499	A2	26 April 2006	EP	1650499	A2	26 April 2006
				JP	2006118854	A	11 May 2006
				US	2006080967	A1	20 April 2006
US	2004025805	A1	12 February 2004	CA	2434809	A1	15 January 2004
				JP	2004125378	A	22 April 2004
				US	2004025805	A1	12 February 2004
WO	2008104859	A2	04 September 2008	EP	2122245	A2	25 November 2009
				WO	2008104859	A2	04 September 2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F23C9/00 F23C13/00 F23N5/24 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F23C F23N		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 650 499 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 26. April 2006 (2006-04-26)	1-3, 11, 12, 14, 15
A	Absatz [0001]; Abbildungen 1, 2 Absätze [0006] - [0008] Absatz [0016] - Absatz [0020] Absatz [0027] - Absatz [0029] -----	4-10, 13
A	US 2004/025805 A1 (KAYAHARA TOSHIHIRO [JP] ET AL) 12. Februar 2004 (2004-02-12) Absatz [0001]; Abbildung 1 Absätze [0041], [0045] - [0049] Absätze [0076], [0078], [0079] Absatz [0089] - Absatz [0092] Absatz [0095] - Absatz [0100] ----- -/--	4-7
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 11. Januar 2024		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 19/01/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Hauck, Gunther

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2008/104859 A2 (EASY INTERNAT S R L [IT]; ABATE VALERIO [IT] ET AL.) 4. September 2008 (2008-09-04) Seite 1, Zeile 4 - Zeile 8; Abbildungen 1-3 Seite 3, Zeilen 4-7, 9-11 Seite 4, Zeile 8 - Seite 5, Zeile 19 Seite 6, Zeile 16 - Zeile 22 Seite 7, Zeile 6 - Zeile 22 Seite 8, Zeile 10 - Seite 9, Zeile 8 -----	1, 13
T	Anonymous: "TRGS 720: Gefährliche explosionsfähige Gemische - Allgemeines, 2 Begriffsbestimmungen", / 10. Januar 2022 (2022-01-10), XP093117956, Gefunden im Internet: URL: https://vorschriften.bgn-branchenwissen.de/daten/tr/trgs720/2.htm#23 [gefunden am 2024-01-10] das ganze Dokument -----	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/081117

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1650499 A2	26-04-2006	EP 1650499 A2	26-04-2006
		JP 2006118854 A	11-05-2006
		US 2006080967 A1	20-04-2006
US 2004025805 A1	12-02-2004	CA 2434809 A1	15-01-2004
		JP 2004125378 A	22-04-2004
		US 2004025805 A1	12-02-2004
WO 2008104859 A2	04-09-2008	EP 2122245 A2	25-11-2009
		WO 2008104859 A2	04-09-2008