



19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 694 893 A5

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

51 Int. Cl.<sup>7</sup>: F 17 C 001/00  
F 17 C 007/02  
F 17 C 009/02  
F 02 M 037/00

## 12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 01739/03

62 Teilgesuch: 02345994

22 Anmeldungsdatum: 18.06.1998

30 Priorität: 20.06.1997 US 60/050,280  
28.07.1997 US 60/053,966  
19.12.1997 US 60/068,198

24 Patent erteilt: 31.08.2005

45 Patentschrift  
veröffentlicht: 31.08.2005

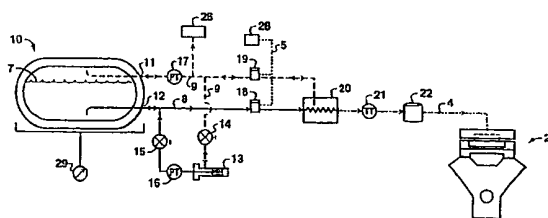
73 Inhaber:  
ExxonMobil Upstream Research Company  
3120 Buffalo Speedway, P.O. Box 2189  
Houston, TX 77252-2189 (US)

72 Erfinder:  
MINTA, Moses, 39 Sterling Street  
Sugar Land, TX 77479 (US)  
BOWEN, Ronald, R., 37602 Pinwood Court  
Magnolia, TX 77355 (US)

74 Vertreter:  
E. Blum & Co. Patentanwälte, Am Vorderberg 11  
8044 Zürich (CH)

## 54 Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung für mit Erdgas angetriebene Fahrzeuge.

57 Es werden Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen zur Verfügung gestellt, um Flüssigerdgas unter Druck (PLNG) auf einem Druck von etwa 1035 kPa bis etwa 7590 kPa und bei einer Temperatur von etwa  $-123^{\circ}\text{C}$  bis etwa  $-62^{\circ}\text{C}$  zu speichern, und verdampften PLNG-Kraftstoff nach Bedarf zur Verbrennung in einer Brennkraftmaschine (24) zu liefern. Die Kraftstoffspeicher- und Liefersysteme weisen Kraftstoffspeicherbehälter (10) auf, die aus ultrahochfestem, niedriglegiertem Stahl konstruiert sind, der weniger als 9 Gew.-% Nickel enthält, und eine Zugfestigkeit von mehr als 830 Mpa und eine DBTT von weniger als etwa  $-73^{\circ}\text{C}$  aufweist. Zwar nicht hierauf beschränkt, ist die vorliegende Erfindung besonders nützlich für Automobile, Busse, Lastkraftfahrzeuge und andere Fahrzeuge mit Brennkraftmaschinen (24), die für den Betrieb mit Verbrennung von Erdgas ausgelegt sind.



**Beschreibung**Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung sowie eine Verwendung dieser Vorrichtung gemäss den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

Sie ist besonders nützlich für Automobile, Busse, Lastkraftfahrzeuge und andere Fahrzeuge mit Brennkraftmaschinen, die so ausgelegt sind, dass sie mit der Verbrennung von Erdgas betrieben werden können.

Hintergrund der Erfindung

In der folgenden Beschreibung sind verschiedene Begriffe definiert. Zur Vereinfachung ist unmittelbar vor den Patentansprüchen ein Glossar von Begriffen vorhanden.

Gesetze, wie beispielsweise der Clean Air Act (1990) und der Energy Policy Act (1992), welche den Kauf alternativ angetriebener Fahrzeuge (AFVs) erforderlich machen, haben zu mehreren ernstzunehmenden geschäftlichen Initiativen zur Entwicklung von Erdgasfahrzeugen (NGVs) geführt. Obwohl diese Gesetze durch Themen in Bezug auf die Luftreinhaltung motiviert wurden, haben sie wirtschaftliche Anreize erzeugt, die echte Aktivitäten in Bezug auf den Einsatz von NGVs in Gang gesetzt haben. NGVs stellen momentan die wettbewerbsfähigste potentielle Alternative zu mit Benzin betriebenen Fahrzeugen dar, infolge der an sich reinen Verbrennung von Erdgas.

Drei miteinander wetteifernde Technologien für den Einsatz von AFVs des NGV-Typs sind: Erdgas unter Druck (CNG), Flüssigerdgas (LNG), und Flüssigpetroleumgas (LPG). Bei der CNG-Technik wird der gasförmige Kraftstoff (Erdgas) bei sehr hohen Drucken von etwa 20684 kPa bis 24132 kPa (3000 – 3500 psia) gespeichert. Es gibt zumindest vier hauptsächliche Nachteile bei der CNG-Technik, die ihre erfolgreiche Entwicklung eingeschränkt haben: ein kurzer Fahrbereich der Fahrzeuge (infolge der niedrigen Energiespeicherung pro Kraftstoffspeicherbehältervolumen); Sicherheitsaspekte, die mit den hohen Speicherdrucken zusammenhängen; das Gewicht und die hohen Kosten für die an Bord befindlichen (und normalerweise nicht passenden) Kraftstoffspeicherbehälter; und die hohen Kosten der Tankstellen, die Verdichtersysteme mit hohem Druckverhältnis aufweisen müssen. Die LNG-Technik überwindet die Einschränkung der niedrigen Energiedichte von CNG, da erheblich mehr Energie pro Volumeneinheit gespeichert werden kann. Weitere Vorteile von LNG im Vergleich zu CNG umfassen ein niedrigeres Fahrzeugkraftstoffsystemgewicht und eine höhere Kraftstoffspeichervolumenfähigkeit. Beispielsweise beträgt das Gewicht eines typischen, an Bord befindlichen Kraftstoffspeichersystems, das mit CNG gefüllt ist, mehr als das 2,5-Fache eines typischen LNG-Systems. Die extrem tiefe Speichertemperatur von  $-162^{\circ}\text{C}$  ( $-260^{\circ}\text{F}$ ), die für ein LNG-System erforderlich ist, führt jedoch zu hohen Kosten für die Kraftstoffspeicherbehälter, die typischerweise aus teuren speziellen Legierungen hergestellt sind, beispielsweise handelsüblichen, nickelhaltigen Stählen, beispielsweise 9 Gew.-% Nickel, oder Aluminiumlegierungen (beispielsweise Al-5083). Darüber hinaus trägt das Erfordernis, Erdgas unter Druck den Kraftstoffinjektoren einer Brennkraftmaschine zuführen zu müssen, zur Komplexität und den Kosten des Kraftstoffliefersystems bei. Eine vor kurzem erfolgte Aufforderung des Brookhaven National Laboratory des Energieministeriums in Bezug auf die LNG-Technik für NGVs hebt das Bedürfnis nach einem LNG-Liefersystem für Mitteldruckkraftstoffinjektoren hervor. Eine Alternative zu LNG mit ähnlich reinen Verbrennungseigenschaften besteht in verflüssigtem Petroleumgas (LPG). LPG überwindet die Einschränkungen von sowohl CNG als auch LNG in der Hinsicht, dass LPG eine höhere Energiespeicherung pro Behältervolumen als entweder CNG oder LNG zur Verfügung stellt, bei relativ niedrigen Drucken (etwa 827 kPa (120 psia)) arbeitet, im Vergleich zu CNG, und bei Umgebungstemperatur. Allerdings ist die LPG-Versorgung begrenzt, und ist LPG erheblich teurer als LNG.

Fünf gleichzeitig anhängige, provisorische US-Patentanmeldungen (die «PLNG-Patentanmeldungen»), die jeweils den Titel «Improved System for Processing, Storing, and Transporting Liquefied Natural Gas» aufweisen, beschreiben Behälter und Tankschiffe zum Speichern und den Seetransport von Flüssigerdgas unter Druck (PLNG) bei einem Druck in dem breiten Bereich von etwa 1035 kPa (150 psia) bis etwa 7590 kPa (1100 psia) und bei einer Temperatur in dem breiten Bereich von etwa  $-123^{\circ}\text{C}$  ( $-190^{\circ}\text{F}$ ) bis etwa  $-62^{\circ}\text{C}$  ( $-80^{\circ}\text{F}$ ). Die jüngste der PLNG-Patentanmeldungen hat ein Prioritätsdatum vom 14. Mai 1998, und wird von den Anmeldern unter dem Aktenzeichen Nr. 97-006 P4 und vom Patent- und Markenamt der vereinigten Staaten («USPTO») unter der Anmeldungs-Nr. 60/085 467 geführt. Die erste der PLNG-Patentanmeldungen hat ein Prioritätsdatum vom 20. Juni 1997, und wird vom USPTO unter der Anmeldungs-Nr. 60/050 280 geführt. Die zweite der PLNG-Patentanmeldungen hat ein Prioritätsdatum vom 28. Juli 1997, und wird von dem USPTO unter der Anmelde-Nr. 60/053 966 geführt. Die dritte der PLNG-Patentanmeldungen hat ein Prioritätsdatum vom 19. Dezember 1997, und wird vom USPTO als Anmeldung Nr. 60/068 226 geführt. Die vierte der PLNG-Patentanmeldungen hat das Prioritätsdatum vom 30. März 1998, und wird von dem USPTO als Anmeldung Nr. 60/079 904 geführt. Weiterhin beschreiben die PLNG-Patentanmeldungen Systeme und Behälter zur Verarbeitung, zum Speichern und zum Transport von PLNG.

PLNG stellt eine alternative, kostengünstige Fahrzeugkraftstoffquelle zur Verfügung, bei welcher die

Vorteile der sauberen Verbrennung von CNG, LNG und LPG vorhanden sind. Zusätzlich stellt PLNG eine höhere Energiespeicherung pro Kraftstoffspeicherbehältervolumen zur Verfügung als CNG, ist in der Verarbeitung weniger teuer als LNG, und überwindet den Nachteil der begrenzten Versorgung von LPG. Nach unserer Kenntnis sind jedoch momentan keine Kraftstoffspeicher-Liefersysteme dazu verfügbar, um kostengünstig PLNG-Kraftstoff zu speichern, und Kraftstoff aus verdampftem PLNG auf Anforderung zur Verbrennung in einer Fahrzeugbrennkraftmaschine zu liefern. Wäre ein derartiges Kraftstoffspeicher-Liefersystem verfügbar, würde PLNG eine Fahrzeugkraftstoffquelle darstellen, welche die hauptsächlichsten Nachteile von CNG, LNG und LPG überwindet. Es besteht ein Bedürfnis nach einem Kraftstoffspeicher- und Liefersystem zum kostengünstigen Speichern von PLNG-Kraftstoff und zum Liefern von Kraftstoff aus verdampftem PLNG auf Anforderung zur Verbrennung in einer Brennkraftmaschine.

Das Hauptziel der vorliegenden Erfindung besteht daher in der Bereitstellung von Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen, die dazu geeignet sind, PLNG-Kraftstoff zu speichern, und verdampftes PLNG als Kraftstoff auf Anforderung zur Verbrennung in einer Brennkraftmaschine zu liefern.

#### Zusammenfassung der Erfindung

Entsprechend den voranstehend angegebenen Zielen der vorliegenden Erfindung werden Kraftstoff-Speicher- und Liefervorrichtungen zur Verfügung gestellt, um Flüssigerdgas unter Druck (PLNG) als Kraftstoff auf einem Druck von etwa 1035 kPa (150 psia) bis etwa 7590 kPa (1100 psia) und bei einer Temperatur von etwa  $-123^{\circ}\text{C}$  ( $-190^{\circ}\text{F}$ ) bis etwa  $-62^{\circ}\text{C}$  ( $-80^{\circ}\text{F}$ ) zu speichern, und verdampften PLNG-Kraftstoff auf Anforderung zur Verbrennung in einer Brennkraftmaschine zu liefern. Vorzugsweise wird der PLNG-Kraftstoff auf einem Druck von etwa 1725 kPa (250 psia) bis etwa 7590 kPa (1100 psia) und einer Temperatur von etwa  $-112^{\circ}\text{C}$  ( $-170^{\circ}\text{F}$ ) bis etwa  $-62^{\circ}\text{C}$  ( $-80^{\circ}\text{F}$ ) gespeichert. Weiter bevorzugt wird der PLNG-Kraftstoff auf einem Druck im Bereich von etwa 2415 kPa (350 psia) bis etwa 4830 kPa (700 psia) und bei einer Temperatur im Bereich von etwa  $-101^{\circ}\text{C}$  ( $-150^{\circ}\text{F}$ ) bis etwa  $-79^{\circ}\text{C}$  ( $-110^{\circ}\text{F}$ ) gespeichert. Besonders bevorzugt liegt das untere Ende des Druck- bzw. Temperaturbereiches für den PLNG-Kraftstoff bei etwa 2760 kPa (400 psia) bzw. etwa  $-96^{\circ}\text{C}$  ( $-140^{\circ}\text{F}$ ). Die Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen gemäss der vorliegenden Erfindung weisen einen Kraftstoffspeicherbehälter auf, der eine ausreichende Festigkeit und Bruchzähigkeit aufweist, um das Flüssigerdgas unter Druck festzuhalten. Zudem sind Einrichtungen zum Liefern von verdampftem Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck auf Anforderung zur Verbrennung in einer Brennkraftmaschine vorhanden.

#### Beschreibung der Zeichnungen

Die Vorteile der vorliegenden Erfindung lassen sich besser unter Bezugnahme auf die nachfolgende, detaillierte Beschreibung und die beigefügten Zeichnungen verstehen, wobei:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung ist, die an eine Brennkraftmaschine angeschlossen ist;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Mikroprozessors (CPU) ist, der zum Kraftstoffmanagement in einer Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung verwendet wird; und

Fig. 3 eine detaillierte Darstellung eines Kraftstoffspeicherbehälters und einer zugehörigen Kraftstoffkartusche ist, die in einer Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

Fig. 4A ein Diagramm der kritischen Fehlstellentiefe, für eine vorgegebene Fehlstellenlänge, als Abhängigkeit der CTOD-Bruchzähigkeit und der Restspannung ist; und

Fig. 4B die Geometrie (Länge und Tiefe) einer Fehlstelle erläutert.

Zwar wird die Erfindung im Zusammenhang mit ihren bevorzugten Ausführungsformen beschrieben, jedoch wird darauf hingewiesen, dass die Erfindung nicht hierauf beschränkt ist. Im Gegensatz soll die Erfindung sämtliche Alternativen, Modifikationen und Äquivalente umfassen, die vom Wesen und Umfang der Erfindung umfasst sind, welche durch die beigefügten Patentansprüche definiert wird.

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen und einzelne Bauteile derartiger Vorrichtungen, zum Speichern von PLNG-Kraftstoff und zum Liefern von verdampftem PLNG-Kraftstoff auf Anforderung zur Verbrennung in einer Fahrzeugbrennkraftmaschine. Es werden Kraftstoffspeicher-Liefervorrichtungen zur Verfügung gestellt, um Flüssigerdgas unter Druck (PLNG) als Kraftstoff auf einem Druck von etwa 1035 kPa (150 psia) bis etwa 7590 kPa (1100 psia) und bei einer Temperatur von etwa  $-123^{\circ}\text{C}$  ( $-190^{\circ}\text{F}$ ) bis etwa  $-62^{\circ}\text{C}$  ( $-80^{\circ}\text{F}$ ) zu speichern, und verdampften PLNG-Kraftstoff auf Anforderung zur Verbrennung in einer Fahrzeugbrennkraftmaschine zu liefern, wobei die Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen Kraftstoffspeicherbehälter und andere Bauteile aufweisen, die bevorzugterweise aus Materialien konstruiert sind, die einen ultrahochfesten, niedriglegierten

Stahl umfassen, der weniger als 9 Gew.-% Nickel enthält, und eine Zugfestigkeit von mehr als 830 MPa (120 ksi) und eine DBTT von weniger als etwa  $-73^{\circ}\text{C}$  ( $-100^{\circ}\text{F}$ ) aufweist. Weiterhin werden bevorzugterweise Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen zur Verfügung gestellt, um PLNG-Kraftstoff auf einem Druck von etwa 1725 kPa (250 psia) bis etwa 4830 kPa (700 psia) und einer Temperatur von etwa  $-112^{\circ}\text{C}$  ( $-170^{\circ}\text{F}$ ) bis etwa  $-70^{\circ}\text{C}$  ( $-110^{\circ}\text{F}$ ) zu speichern, und verdampften PLNG-Kraftstoff auf Anforderung zur Verbrennung in einer Fahrzeugbrennkraftmaschine zu liefern, wobei die Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen Kraftstoffspeicherbehälter und andere Bauteile aufweisen, welche (i) bevorzugterweise aus Materialien konstruiert sind, die einen ultrahochfesten, niedriglegierten Stahl umfassen, der weniger als 9 Gew.-% Nickel enthält, und (ii) ausreichende Festigkeit und Bruchzähigkeit aufweisen, um das Flüssigerdgas unter Druck festzuhalten. Weiterhin werden Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen zur Verfügung gestellt, um PLNG-Kraftstoff zu speichern, und verdampften PLNG-Kraftstoff auf Anforderung zur Verbrennung in einer Fahrzeugbrennkraftmaschine zu liefern, wobei die Kraftstoffspeicher- und Liefersysteme Kraftstoffspeicherbehälter und andere Bauteile aufweisen, die aus Materialien konstruiert sind, die bevorzugterweise einen ultrahochfesten, niedriglegierten Stahl umfassen, der weniger als 9 Gew.-% Nickel enthält, und eine Zugfestigkeit von mehr als 830 MPa (120 ksi) und eine DBTT von weniger als etwa  $-73^{\circ}\text{C}$  ( $-100^{\circ}\text{F}$ ) aufweist. Weiterhin werden Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen zur Verfügung gestellt, um PLNG-Kraftstoff zu speichern, und verdampften PLNG-Kraftstoff auf Anforderung zur Verbrennung in einer Fahrzeugbrennkraftmaschine zu liefern, wobei die Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen Kraftstoffspeicherbehälter und andere Bauteile aufweisen, die (i) aus Materialien konstruiert sind, die bevorzugterweise einen ultrahochfesten, niedriglegierten Stahl umfassen, der weniger als 9 Gew.-% Nickel enthält, und (ii) eine ausreichende Festigkeit und Bruchzähigkeit aufweisen, um das Flüssigerdgas unter Druck festzuhalten.

Stahl für die Konstruktion von Behältern, für Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen

Zur Konstruktion der Behälter für Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtungen und anderer Bauteile gemäss der vorliegenden Erfindung kann jeder ultrahochfeste, niedriglegierte Stahl, der weniger als 9 Gew.-% Nickel enthält, und eine ausreichende Zähigkeit zum Aufnehmen von Tieftemperaturfluiden aufweist, beispielsweise PLNG, bei Betriebsbedingungen, verwendet werden, entsprechend den bekannten Prinzipien der Bruchmechanik, wie sie hier beschrieben werden. Ein Beispiel für Stahl zum Einsatz bei der vorliegenden Erfindung, ohne hierdurch die Erfindung einzuschränken, ist ein schweisssbarer, ultrahochfester, niedriglegierter Stahl, der weniger als 9 Gew.-% Nickel enthält, und eine Zugfestigkeit von mehr als 830 MPa (120 ksi) und eine ausreichende Zähigkeit aufweist, um das Einleiten eines Bruches zu verhindern, also einen Ausfall, bei Betriebsbedingungen mit tiefen Temperaturen. Ein weiteres Beispiel für einen Stahl zum Einsatz bei der vorliegenden Erfindung, ohne hierdurch die Erfindung einzuschränken, ist ein schweisssbarer, ultrahochfester, niedriglegierter Stahl, der weniger als etwa 3 Gew.-% Nickel enthält, und eine Zugfestigkeit von zumindest etwa 1000 MPa (145 ksi) und ausreichende Zähigkeit aufweist, um das Einleiten eines Bruchs zu verhindern, also einen Ausfall, bei Betriebsbedingungen mit tiefen Temperaturen. Vorzugsweise weisen diese Beispiele für Stähle DBTTs von weniger als etwa  $-73^{\circ}\text{C}$  ( $-100^{\circ}\text{F}$ ) auf.

Vor kurzem erzielte Fortschritte bei der Stahlherstellungstechnologie haben die Herstellung neuer, ultrahochfester, niedriglegierter Stähle mit hervorragender Zähigkeit bei tiefen Temperaturen ermöglicht. Beispielsweise beschreiben drei US-Patente, die an Koo et al. erteilt wurden, mit den Nr. 5 531 842, 5 545 269 und 5 545 270, neue Stähle und Verfahren zur Verarbeitung dieser Stähle, um Stahlplatten mit Zugfestigkeiten von etwa 830 MPa (120 ksi), 965 MPa (140 ksi) oder mehr herzustellen. Die dort geschilderten Stähle und Verarbeitungsverfahren wurden verbessert und abgeändert, um Kombinationen der chemischen Zusammensetzung von Stahl und der Verarbeitung bereitzustellen, damit ultrahochfeste, niedriglegierte Stähle mit hervorragender Zähigkeit bei tiefen Temperaturen hergestellt werden können, sowohl in dem eigentlichen Stahl als auch in der durch Wärme beeinflussten Zone (HAZ), wenn sie geschweisst werden. Diese ultrahochfesten, niedriglegierten Stähle haben darüber hinaus die Zähigkeit verbessert, im Vergleich mit üblichen, im Handel erhältlichen ultrahochfesten, niedriglegierten Stählen. Diese verbesserten Stähle sind in einer gleichzeitig anhängigen, provisorischen US-Patentanmeldung mit dem Titel «ULTRA-HIGH STRENGTH STEELS WITH EXCELLENT CRYOGENIC TEMPERATURE TOUGHNESS» beschrieben, die ein Prioritätsdatum vom 19. Dezember 1997 hat, und von dem Patent- und Markenamt der Vereinigten Staaten («USPSTO») unter der Anmelde-Nr. 60/068 194 geführt wird; in einer gleichzeitig anhängigen, provisorischen US-Patentanmeldung mit dem Titel: «ULTRA-HIGH STRENGTH AUSAGED STEELS WITH EXCELLENT CRYOGENIC TEMPERATURE TOUGHNESS», die ein Prioritätsdatum vom 19. Dezember 1967 hat, und von dem USPTO unter der Anmelde-Nr. 60/068 552 geführt wird; und in einer gleichzeitig anhängigen, provisorischen US-Patentanmeldung mit dem Titel: ULTRA-HIGH STRENGTH DUAL PHASE STEELS WITH EXCELLENT CRYOGENIC TEMPERATURE TOUGHNESS», die ein Prioritätsdatum vom 19. Dezember 1997 hat, und von dem USPTO unter der Anmelde-Nr. 60/068 816 geführt wird (zusammengefasst als die «Stahlpatent-Anmeldungen») bezeichnet.

Die neuen Stähle, die in den Stahlpatentanmeldungen beschrieben werden, und in den nachstehenden Beispielen weiter erläutert werden, sind besonders geeignet zum Konstruieren der Behälter zum

Speichern und Transportieren von PLNG gemäss der vorliegenden Erfindung, und zwar in der Hinsicht, dass die Stähle die folgenden Eigenschaften aufweisen, vorzugsweise bei Stahlplatten von etwa 2,5 cm (1 Zoll) und grösser: (i) DBTT von weniger als etwa  $-73^{\circ}\text{C}$  ( $-100^{\circ}\text{F}$ ), vorzugsweise niedriger als etwa  $-107^{\circ}\text{C}$  ( $-160^{\circ}\text{F}$ ), in dem eigentlichen Stahl und in der Schweiss-HAZ; (ii) eine Zugfestigkeit von mehr als 830 MPa (120 ksi), vorzugsweise grösser als etwa 860 MPa (125 ksi), und besonders bevorzugt grösser als etwa 900 MPa (130 ksi); (iii) bessere Schweissbarkeit; (iv) eine Mikrostruktur und Eigenschaften, die im Wesentlichen über die gesamte Dicke gleichförmig sind; und (v) eine verbesserte Zähigkeit im Vergleich zu im Handel erhältlichen, ultrahochfesten, niedriglegierten Standardstählen. Besonders bevorzugt weisen diese Stähle eine Zugfestigkeit von mehr als etwa 930 MPa (135 ksi) auf, oder von mehr als etwa 964 MPa (140 ksi), oder mehr als etwa 1000 MPa (145 ksi).

#### Erstes Stahlbeispiel

Wie voranstehend geschildert, stellt eine gleichzeitig anhängige, provisorische US-Patentanmeldung mit dem Prioritätsdatum vom 19. Dezember 1997, mit dem Titel «Ultra-High Strength Steels With Excellent Cryogenic Temperature Toughness», die von dem USPTO unter der Anmeldungs-Nr. 60/068 194 geführt wird, eine Beschreibung von Stählen zur Verfügung, die zum Einsatz bei der vorliegenden Erfindung geeignet sind. Es wird ein Verfahren zur Verfügung gestellt, um eine ultrahochfeste Stahlplatte zu erzeugen, die eine Mikrostruktur aufweist, die im Wesentlichen aus getempertem, feinkörnigem Martensit besteht, aus getempertem, feinkörnigem niedrigerem Bainit, oder aus Mischungen, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: (a) Erhitzen eines Stahlbarrens auf eine Wiedererhitzungstemperatur, die ausreichend hoch ist, um (i) den Stahlbarren im Wesentlichen zu homogenisieren, (ii) im Wesentlichen sämtliche Karbide und Karbonitride von Niob und Vanadium in den Stahlbarren aufzulösen, und (iii) feine anfängliche Austenitkörner in dem Stahlbarren zu erzeugen; (b) Verkleinerung des Stahlbarrens, um eine Stahlplatte in einem oder mehreren Heisswalzdurchgängen in einem ersten Temperaturbereich auszubilden, in welchem Austenit rekristallisiert; (c) weiteres Verkleinern der Stahlplatte in einem oder mehreren Heisswalzdurchgängen in einem zweiten Temperaturbereich, unterhalb der  $T_{nr}$ -Temperatur und oberhalb etwa der  $AR_3$ -Transformationstemperatur; (d) Abschrecken der Stahlplatte mit einer Abkühlrate von etwa  $10^{\circ}\text{C}/\text{sek.}$  bis etwa  $40^{\circ}\text{C}/\text{sek.}$  ( $18^{\circ}\text{F}/\text{sek.}$  bis  $72^{\circ}\text{F}/\text{sek.}$ ), auf eine Abschreckstopptemperatur unterhalb etwa der  $M_s$ -Transformationstemperatur +  $200^{\circ}\text{C}$  ( $360^{\circ}\text{F}$ ); (e) Stoppen des Abschreckens; und (f) Tempern der Stahlplatte bei einer Temperatur von etwa  $400^{\circ}\text{C}$  ( $752^{\circ}\text{F}$ ) bis herauf zu etwa der  $Ac_1$ -Transformationstemperatur, vorzugsweise bis kurz vor die  $Ac_1$ -Transformationstemperatur, für einen Zeitraum, der dazu ausreicht, das Ausfällen von Härtungsteilchen hervorzurufen, als  $\epsilon$ -Kupfer,  $\text{MO}_2\text{C}$ , oder Karbide oder Karbonitride von Niob und Vanadium, entweder einzeln oder in Kombination. Der Zeitraum, der dazu ausreicht, das Ausfällen von Härtungsteilchen hervorzurufen, hängt hauptsächlich von der Dicke der Stahlplatte ab, der chemischen Zusammensetzung der Stahlplatte, und der Temperatursbereich, und kann von einem Fachmann auf diesem Gebiet bestimmt werden (vgl. das Glossar für die Definitionen von überwiegend, von Härtungsteilchen, der  $T_{nr}$ -Temperatur, der  $AR_3$ ,  $M_s$ - und  $Ac_1$ -Transformationstemperatur, und  $\text{MO}_2\text{C}$ ).

Um die Zähigkeit bei Umgebungstemperatur und Tieftemperaturen sicherzustellen, weisen Stähle gemäss dem ersten Stahlbeispiel vorzugsweise eine Mikrostruktur auf, die hauptsächlich aus getempertem, feinkörnigem niedrigerem Bainit, getempertem, feinkörnigem Martensit, und deren Mischungen besteht. Es wird vorgezogen, im Wesentlichen die Ausbildung von Versprödungsbestandteilen zu minimieren, beispielsweise oberen Bainits, Zwillings-Martensit, und MA. Bei diesem ersten Stahlbeispiel und in den Patentansprüchen bedeutet «überwiegend» zumindest etwa 50 Vol.-%. Besonders bevorzugt weist die Mikrostruktur zumindest etwa 60 Vol.-% bis etwa 80 Vol.-% getempertes, feinkörniges unteres Bainit auf, getempertes, feinkörniges Martensit, oder deren Mischungen. Noch weiter bevorzugt umfasst die Mikrostruktur zumindest etwa 90 Vol.-% getempertes, feinkörniges, niedrigeres Bainit, getempertes, feinkörniges Martensit, oder deren Mischungen. Ganz besonders bevorzugt weist die Mikrostruktur im Wesentlichen 100% getempertes, feinkörniges Martensit auf.

Ein Stahlbarren, der gemäss diesem ersten Stahlbeispiel verarbeitet wird, wird auf übliche Art und Weise hergestellt, und weist bei einer Ausführungsform Eisen und die folgenden Legierungselemente auf, vorzugsweise in den Gewichtsbereichen, die in der nachstehenden Tabelle I angegeben sind.

Tabelle 1

|    | Legierungselement | Bereich (Gew.-%)                   |
|----|-------------------|------------------------------------|
| 5  | Kohlenstoff (C)   | 0,04–0,12, bevorzugt 0,4–0,07      |
|    | Mangan (Mn)       | 0,5–2,5, bevorzugt 1,0–1,8         |
|    | Nickel (Ni)       | 1,0–3,0, bevorzugt 1,5–2,5         |
|    | Kupfer (Cu)       | 0,1–1,5, bevorzugt 0,5–1,0         |
| 10 | Molybdän (Mo)     | 0,1–0,8, bevorzugt 0,2–0,5         |
|    | Niob (Nb)         | 0,02–0,1, bevorzugt 0,03–0,05      |
|    | Titan (Ti)        | 0,008–0,03 bevorzugt 0,01–0,02     |
| 15 | Aluminium (Al)    | 0,001–0,05, bevorzugt 0,005–0,03   |
|    | Stickstoff (N)    | 0,002–0,005, bevorzugt 0,002–0,003 |

Vanadium (V) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise bis zu etwa 0,10 Gew.-%, und besonders bevorzugt etwa 0,02 bzw. etwa 0,05 Gew.-%.

Chrom (Cr) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise bis zu etwa 1,0 Gew.-%, und besonders bevorzugt etwa 0,2 Gew.-% bis etwa 0,6 Gew.-%.

Silizium (Si) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise bis zu etwa 0,5 Gew.-%, bevorzugter etwa 0,01 Gew.-% bis etwa 0,5 Gew.-%, und ganz besonders bevorzugt etwa 0,05 Gew.-% bis etwa 0,1 Gew.-%.

Bor (B) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, bevorzugt bis zu etwa 0,0020 Gew.-%, und besonders bevorzugt etwa 0,0006 Gew.-% bis etwa 0,0010 Gew.-%.

Der Stahl enthält vorzugsweise zumindest etwa 1 Gew.-% Nickel. Der Nickelgehalt des Stahls kann auf mehr als etwa 3 Gew.-% erhöht werden, wenn es erwünscht ist, die Leistung nach dem Schweißen zu verbessern. Von jeder Hinzufügung von Nickel um 1 Gew.-% wird erwartet, dass dies die DBTT des Stahls um etwa 10°C (18°F) verringert. Der Nickelgehalt beträgt vorzugsweise weniger als 9 Gew.-%, besonders bevorzugt weniger als etwa 6 Gew.-%. Der Nickelgehalt wird vorzugsweise minimiert, um die Kosten des Stahls zu minimieren. Wenn der Nickelgehalt auf mehr als etwa 3 Gew.-% erhöht wird, kann der Mangangehalt auf unter etwa 0,5 Gew.-% bis herunter zu 0,0 Gew.-% verringert werden. Daher ist allgemein gesprochen vorzuziehen, bis zu etwa 2,5 Gew.-% Mangan einzusetzen.

Darüber hinaus werden Restbestandteile vorzugsweise im Wesentlichen in dem Stahl minimiert. Der Gehalt an Phosphor (P) beträgt vorzugsweise weniger als etwa 0,01 Gew.-%. Der Gehalt an Schwefel (S) beträgt vorzugsweise weniger als etwa 0,004 Gew.-%. Der Gehalt an Sauerstoff (O) beträgt vorzugsweise weniger als etwa 0,002 Gew.-%.

Um einige weitere Einzelheiten zu schildern, wird ein Stahl gemäss diesem ersten Stahlbeispiel dadurch hergestellt, dass ein Barren mit der gewünschten Zusammensetzung, wie hier beschrieben, hergestellt wird; der Barren auf eine Temperatur von etwa 955°C bis etwa 1065°C (1750°F bis 1950°F) erhitzt wird; der Barren heissgewalzt wird, um eine Stahlplatte in einem oder mehreren Durchgängen auszubilden, wobei eine Grössenverringern um etwa 30% bis etwa 70% in einem ersten Temperaturbereich erfolgt, in welchem Austenit rekristallisiert, also oberhalb etwa der  $T_{nr}$ -Temperatur, und dann ein weiteres Heisswalzen der Stahlplatte in einem oder mehreren Durchgängen erfolgt, mit einer Grössenverringern um etwa 40% bis etwa 80%, in einem zweiten Temperaturbereich, unterhalb etwa der  $T_{nr}$ -Temperatur und oberhalb etwa der  $Ar_3$ -Transformationstemperatur. Die heissgewalzte Stahlplatte wird dann abgeschreckt, mit einer Abkühlrate von etwa 10°C/sek. bis etwa 40°C/sek. (18°F/sek. bis 72°F/sek.), auf einen geeigneten QST (wie in dem Glossar definiert) unterhalb etwa der  $M_s$ -Transformationstemperatur + 200°C (360°F), wobei zu diesem Zeitpunkt das Abschrecken beendet wird. Bei einer Ausführungsform dieses ersten Stahlbeispiels wird die Stahlplatte dann mittels Luftkühlung auf Umgebungstemperatur abgekühlt. Diese Verarbeitung wird eingesetzt, um eine Mikrostruktur zu erzeugen, die vorzugsweise hauptsächlich feinkörniges Martensit, feinkörniges unteres Bainit, oder deren Mischungen enthält, oder besonders bevorzugt im Wesentlichen 100% feinkörniges Martensit enthält.

Das auf diese Weise direkt abgeschreckte Martensit in Stählen gemäss diesem ersten Stahlbeispiel weist eine hohe Festigkeit auf, jedoch kann seine Zähigkeit dadurch verbessert werden, sodass ein Tempervorgang bei einer geeigneten Temperatur erfolgt, von oberhalb etwa 400°C (752°F) bis herauf zu etwa der  $Ac_1$ -Transformationstemperatur. Das Tempern des Stahls innerhalb dieses Temperaturbereiches führt auch zu einer Verringerung der Abschreckspannungen, was wiederum zu einer verbesserten Zähigkeit führt. Zwar kann Tempern die Zähigkeit des Stahls erhöhen, jedoch führt es normalerweise zu einem wesentlichen Festigkeitsverlust. Bei der vorliegenden Erfindung wird der übliche Festigkeitsverlust infolge des Tempers dadurch ausgeglichen, dass eine Ausfällungsdispersionshärtung hervorgerufen wird. Dispersionshärtung durch fein ausgefälltes Kupfer und gemischte Karbide und/oder Karbonitride wird dazu verwendet, die Festigkeit und Zähigkeit während des Tempers der martensiti-

schen Anordnung zu optimieren. Die einzigartige chemische Zusammensetzung der Stähle gemäss diesem ersten Stahlbeispiel gestattet ein Tempern innerhalb des weiten Bereiches von etwa 400°C bis 650°C (750°F bis 1200°F), ohne einen signifikanten Verlust der durch das Abschrecken erzielten Festigkeit. Die Stahlplatte wird vorzugsweise getempert bei einer Tempertemperatur von oberhalb etwa 400°C (752°F) bis unterhalb der  $A_{c1}$ -Transformationstemperatur über einen Zeitraum, der dazu ausreicht, das Ausfällen von Härtungsteilchen (wie hier definiert) hervorzurufen. Diese Verarbeitung erleichtert die Transformation der Mikrostruktur der Stahlplatte in überwiegend getempertes, feinkörniges Martensit, getempertes, feinkörniges niedrigeres Bainit, oder deren Mischungen. Wiederum hängt der Zeitraum, der zum Hervorrufen des Ausfallens von Härtungsteilchen erforderlich ist, hauptsächlich von der Dicke der Stahlplatte ab, der chemischen Zusammensetzung der Stahlplatte, und der Tempertemperatur, und kann von einem Fachmann auf diesem Gebiet bestimmt werden.

#### Zweites Stahlbeispiel

Wie voranstehend geschildert, stellt eine gleichzeitig anhängige, provisorische US-Patentanmeldung, die ein Prioritätsdatum vom 19. Dezember 1997 aufweist, mit dem Titel «Ultra-High Strength Ausaged Steels With Excellent Cryogenic Temperature Toughness», und die von USPTO unter der Anmeldungs-Nr. 60/068 552 geführt wird, eine Beschreibung anderer Stähle zur Verfügung, die zum Einsatz bei der vorliegenden Erfindung geeignet sind. Es wird ein Verfahren zur Verfügung gestellt, um eine ultrahochfeste Stahlplatte zu erzeugen, welche eine Mikrolaminatmikrostruktur aufweist, bei welcher etwa 2 Vol.-% bis etwa 10 Vol.-% austenitische Filmschichten vorhanden sind, und etwa 90 Vol.-% bis etwa 98 Vol.-% überwiegend feinkörniges Martensit und feinkörniges, niedrigeres Bainit, wobei das Verfahren nachfolgende Schritte umfasst: (a) Erhitzen eines Stahlbarrens auf eine Wiedererwärmungstemperatur, die ausreichend hoch ist, um (i) den Stahlbarren im Wesentlichen zu homogenisieren, (ii) im Wesentlichen sämtliche Karbide und Karbonitride von Niob und Vanadium in den Stahlbarren aufzulösen, und (iii) feine anfängliche Austenitkörnchen in dem Stahlbarren auszubilden; (b) Verkleinern des Stahlbarrens zur Ausbildung einer Stahlplatte in einem oder mehreren Heisswalzdurchgängen in einem ersten Temperaturbereich, in welchem Austenit rekristallisiert; (c) weiteres Verkleinern der Stahlplatte in einem oder mehreren Heisswalzdurchgängen in einem zweiten Temperaturbereich unterhalb etwa der  $T_{nr}$ -Temperatur und oberhalb etwa der  $A_{r3}$ -Transformationstemperatur; (d) Abschrecken der Stahlplatte mit einer Abkühlrate von etwa 10°C/sek. bis etwa 40°C/sek. (18°F/sek. bis 72°F/sek.) bis zu einer Abschreckstopptemperatur (QST) unterhalb etwa der  $M_s$ -Transformationstemperatur + 100°C (180°F) und oberhalb etwa der  $M_s$ -Transformationstemperatur; und (e) Stoppen der Abschreckung. Bei einer Ausführungsform umfasst das Verfahren gemäss diesem zweiten Stahlbeispiel weiterhin den Schritt, dass sich die Stahlplatte mittels Luftkühlung von der QST auf Umgebungstemperatur abkühlt. Bei einer anderen Ausführungsform umfasst das Verfahren gemäss diesem zweiten Stahlbeispiel weiterhin den Schritt, die Stahlplatte im Wesentlichen isotherm auf der QST über bis zu 5 Minuten zu halten, bevor sich die Stahlplatte mittels Luftkühlung auf Umgebungstemperatur abkühlen kann. Bei einer anderen Ausführungsform umfasst das Verfahren gemäss diesem zweiten Stahlbeispiel weiterhin den Schritt, die Stahlplatte von QST langsam abzukühlen, mit einer Rate, die niedriger als etwa 1,0°C/sek. (1,9°F/sek.) ist, für bis zu 5 Minuten, bevor sich die Stahlplatte mittels Luftkühlung auf Umgebungstemperatur abkühlen kann. Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst das Verfahren gemäss der vorliegenden Erfindung weiterhin den Schritt, die Stahlplatte von der aus QST aus mit einer Rate langsam abzukühlen, die niedriger als etwa 1,0°C/sek. (1,8°F/sek.) ist, über einen Zeitraum von bis zu etwa 5 Minuten, bevor sich die Stahlplatte mittels Luftkühlung auf Umgebungstemperatur abkühlen kann. Diese Verarbeitung erleichtert die Transformation der Mikrostruktur der Stahlplatte zu etwa 2 Vol.-% bis etwa 10 Vol.-% aus austenitischen Filmschichten und etwa 90 Vol.-% bis etwa 98 Vol.-% aus überwiegend feinkörnigem Martensit und feinkörnigem niedrigerem Bainit (vgl. das Glossar für die Definitionen der  $T_{nr}$ -Temperatur, und der  $A_{r3}$ - und  $M_s$ -Transformationstemperatur).

Um die Zähigkeit der Umgebungstemperatur und Tieftemperaturen sicherzustellen, bestehen die Bestandteile in der Mikrolaminatmikrostruktur vorzugsweise überwiegend aus niedrigerem Bainit oder Martensit. Es ist vorzuziehen, im Wesentlichen die Ausbildung von Versprödungsbestandteilen zu minimieren, beispielsweise oberen Bainits, Zwillings-Martensits und MA. Bei diesem zweiten Stahlbeispiel und den Patentansprüchen bedeutet «überwiegend» zumindest etwa 50 Vol.-%. Der Rest der Mikrostruktur kann zusätzlich als feinkörniges unteres Bainit enthalten, zusätzliches feinkörniges Martensit, oder Ferrit. Besonders bevorzugt weist die Mikrostruktur zumindest etwa 60 Vol.-% bis etwa 80 Vol.-% an niedrigerem Bainit oder Martensit auf. Ganz besonders bevorzugt weist die Mikrostruktur zumindest etwa 90 Vol.-% niedrigeres Bainit oder Martensit auf.

Ein Stahlbarren, der gemäss diesem zweiten Stahlbeispiel verarbeitet wird, wird auf übliche Art und Weise hergestellt, und weist bei einer Ausführungsform Eisen und die folgenden Legierungselemente auf, vorzugsweise in den Gewichtsbereichen, die in der folgenden Tabelle II angegeben sind.

Tabelle 2

|    | Legierungselement | Bereich (Gew.-%)                   |
|----|-------------------|------------------------------------|
| 5  | Kohlenstoff (C)   | 0,04–0,12, bevorzugt 0,4–0,07      |
|    | Mangan (Mn)       | 0,5–2,5, bevorzugt 1,0–1,8         |
|    | Nickel (Ni)       | 1,0–3,0, bevorzugt 1,5–2,5         |
|    | Kupfer (Cu)       | 0,1–1,0, bevorzugt 0,2–0,5         |
| 10 | Molybdän (Mo)     | 0,1–0,8, bevorzugt 0,2–0,4         |
|    | Niob (Nb)         | 0,02–0,1, bevorzugt 0,02–0,05      |
|    | Titan (Ti)        | 0,008–0,03, bevorzugt 0,01–0,02    |
| 15 | Aluminium (Al)    | 0,001–0,05, bevorzugt 0,005–0,03   |
|    | Stickstoff (N)    | 0,002–0,005, bevorzugt 0,002–0,003 |

20 Chrom (Cr) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, bevorzugt bis zu etwa 1,0 Gew.-%, und besonders bevorzugt etwa 0,2 Gew.-% bis etwa 0,6 Gew.-%.

Silizium (Si) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise bis zu etwa 0,5 Gew.-%, weiter bevorzugt etwa 0,01 Gew.-% bis etwa 0,5 Gew.-%, und ganz besonders bevorzugt etwa 0,05 Gew.-% bis etwa 0,1 Gew.-%.

25 Bor (B) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise bis zu etwa 0,0020 Gew.-%, und besonders bevorzugt etwa 0,0006 Gew.-% bis etwa 0,0010 Gew.-%.

30 Der Stahl weist vorzugsweise zumindest etwa 1 Gew.-% Nickel auf. Der Nickelgehalt des Stahls kann auf mehr als etwa 3 Gew.-% erhöht werden, falls es erwünscht ist, die Leistung nach dem Schweißen zu verbessern. Von jeder Hinzufügung von Nickel um 1 Gew.-% wird erwartet, dass die DBTT des Stahls um etwa 10°C (18°F) verringert wird. Der Nickelgehalt beträgt vorzugsweise weniger als 9 Gew.-%, besonders bevorzugt weniger als etwa 6 Gew.-%. Der Nickelgehalt wird vorzugsweise minimiert, um die Kosten des Stahls zu minimieren. Wenn der Nickelgehalt auf mehr als etwa 3 Gew.-% erhöht wird, kann der Mangangehalt verringert werden, auf unterhalb von etwa 0,5 Gew.-% bis herunter zu 0,0 Gew.-%. Allgemein gesprochen wird daher bis zu etwa 2,5 Gew.-% Mangan herauf bevorzugt.

35 Weiterhin werden Restbestandteile vorzugsweise im Wesentlichen in dem Stahl minimiert. Der Gehalt an Phosphor (P) beträgt vorzugsweise weniger als etwa 0,01 Gew.-%. Der Gehalt an Schwefel (S) beträgt vorzugsweise weniger als etwa 0,004 Gew.-%. Der Gehalt an Sauerstoff (O) beträgt vorzugsweise weniger als etwa 0,002 Gew.-%.

40 Um einige weitere Einzelheiten zu schildern, wird ein Stahl gemäss diesem zweiten Stahlbeispiel dadurch hergestellt, dass ein Barren mit der gewünschten Zusammensetzung, wie hier beschrieben, ausgebildet wird; der Barren auf eine Temperatur zwischen etwa 955°C und etwa 1065°C (1750°F bis 1950°F) erhitzt wird; der Barren heissgewalzt wird, um eine Stahlplatte in einem oder mehreren Durchgängen auszubilden, mit einer Grössenverringerung von etwa 30% bis etwa 70% in einem ersten Temperaturbereich, in welchem Austenit rekristallisiert, also oberhalb etwa der  $T_{nr}$ -Temperatur, und weiteres Heisswalzen der Stahlplatte in einem oder mehreren Durchgängen, die für eine Grössenverringerung von etwa 40% bis etwa 80% sorgen, in einem zweiten Temperaturbereich unterhalb etwa der  $T_{nr}$ -Temperatur und oberhalb etwa der  $Ar_3$ -Transformationstemperatur. Die heissgewalzte Stahlplatte wird dann abgeschreckt, mit einer Abkühlrate von etwa 10°C/sek. bis etwa 40°C/sek. (18°F/sek. bis 72°F/sek.), auf eine geeignete QST unterhalb etwa der  $M_s$ -Transformationstemperatur + 100°C (180°F) und oberhalb etwa der  $M_s$ -Transformationstemperatur, und zu diesem Zeitpunkt wird die Abschreckung abgebrochen. Bei einer Ausführungsform dieses zweiten Stahlbeispiels wird nach Beendigung der Abschreckung die Stahlplatte mittels Luftkühlung von der QST herunter auf Umgebungstemperatur abgekühlt. Bei einer anderen Ausführungsform dieses zweiten Stahlbeispiels wird nach Beendigung der Abschreckung die Stahlplatte auf der QST im Wesentlichen isotherm für einen Zeitraum gehalten, vorzugsweise bis zu etwa 5 Minuten, und dann durch Luftkühlung auf Umgebungstemperatur abgekühlt. Bei einer weiteren Ausführungsform wird die Stahlplatte langsam abgekühlt, mit einer Rate, die geringer ist als jene der Luftkühlung, also mit einer Rate, die niedriger als etwa 1°C/sek. (1,8°F/sek.) ist, vorzugsweise bis zu etwa 5 Minuten. Bei einer weiteren Ausführungsform wird die Stahlplatte von der QST aus langsam abgekühlt, mit einer Rate, die langsamer ist als jene der Luftkühlung, also bei einer Rate, die geringer ist als etwa 1°C/sek. (1,8°F/sek.), vorzugsweise bis zu etwa 5 Minuten. Bei zumindest einer Ausführungsform dieses zweiten Stahlbeispiels beträgt die  $M_s$ -Transformationstemperatur etwa 350°C (662°F), und daher ist der Wert von der  $M_s$ -Transformationstemperatur + 100°C (180°F) gleich etwa 450°C (842°F).

65 Die Stahlplatte kann im Wesentlichen isotherm auf der QST durch jede geeignete Vorrichtung gehalten werden, wie dies Fachleuten bekannt ist, zum Beispiel durch Anordnen eines Wärmemantels über der Stahlplatte. Die Stahlplatte kann nach dem Abschrecken durch jede geeignete Vorrichtung langsam

abgekühlt werden, wie dies Fachleuten bekannt ist, z.B. durch Anordnen eines Isoliermantels über der Stahlplatte.

### Drittes Stahlbeispiel

Wie voranstehend geschildert, stellt eine gleichzeitig anhängige, provisorische US-Patentanmeldung, die ein Prioritätsdatum vom 19. Dezember 1997 aufweist, den Titel «Ultra-High Strength Dual Phase Steels With Excellent Cryogenic Temperature Toughness», und von dem USPTO unter der Anmeldungs-Nr. 60/068 816 geführt wird, eine Beschreibung anderer Stähle zur Verfügung, die zum Einsatz bei der vorliegenden Erfindung geeignet sind. Es wird ein Verfahren zur Verfügung gestellt, um eine ultrahochfeste, Doppelphasenstahlplatte zur Verfügung zu stellen, die eine Mikrostruktur aufweist, bei welcher etwa 10 Vol.-% bis etwa 40 Vol.-% einer ersten Phase mit im Wesentlichen 100 Vol.-% (also im Wesentlichen rein oder «im Wesentlichen») Ferrit und etwa 60 Vol.-% bis etwa 90 Vol.-% einer zweiten Phase vorgesehen sind, die aus überwiegend feinkörnigem Martensit, feinkörnigem niedrigeren Bainit, oder deren Mischungen besteht, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: (a) Erhitzung eines Stahlbarrens auf eine Wiedererwärmungstemperatur, die ausreichend hoch ist, um (i) den Stahlbarren im Wesentlichen zu homogenisieren, (ii) im Wesentlichen sämtliche Karbide und Karbonitride von Niob und Vanadium in dem Stahlbarren aufzulösen, und (iii) feine anfängliche Austenitkörner im Stahlbarren zu erzeugen; (b) Verkleinerung des Stahlbarrens zur Ausbildung einer Stahlplatte in einem oder mehreren Heisswalzdurchgängen in einem ersten Temperaturbereich, in welchem Austenit rekristallisiert; (c) weiteres Verkleinern der Stahlplatte in einem oder mehreren Heisswalzdurchgängen in einem zweiten Temperaturbereich unterhalb etwa der  $T_{nr}$ -Temperatur und oberhalb etwa der  $Ar_3$ -Transformationstemperatur; (d) weiteres Verkleinern der Stahlplatte in einem oder mehreren Heisswalzdurchgängen in einem dritten Temperaturbereich unterhalb etwa der  $Ar_3$ -Transformationstemperatur und oberhalb etwa der  $Ar_1$ -Transformationstemperatur (also dem interkritischen Temperaturbereich); (e) Abschrecken der Stahlplatte mit einer Abkühlrate von etwa 10°C/sek. bis etwa 40°C/sek. (18°F/sek. bis 72°F/sek.) auf eine Stopptemperatur (QST), die vorzugsweise unterhalb etwa  $M_s$ -Transformationstemperatur + 200°C (360°F) liegt; und (f) Stoppen des Abschreckens. Bei einer anderen Ausführungsform dieses dritten Stahlbeispiels liegt die QST vorzugsweise unterhalb etwa der  $M_s$ -Transformationstemperatur + 100°C (180°F), und liegt besonders bevorzugt unterhalb von etwa 350°C (662°F). Bei einer Ausführungsform dieses dritten Stahlbeispiels lässt man die Stahlplatte mittels Luftkühlung sich auf Umgebungstemperatur nach dem Schritt (f) abkühlen. Diese Verarbeitung erleichtert die Transformation der Mikrostruktur der Stahlplatte zu etwa 10 Vol.-% bis etwa 40 Vol.-% einer ersten Phase aus Ferrit und etwa 60 Vol.-% bis etwa 90 Vol.-% einer zweiten Phase aus überwiegend feinkörnigem Martensit, feinkörnigem niedrigerem Bainit, oder deren Mischungen (vgl. das Glossar für die Definitionen der  $T_{nr}$ -Temperatur, und der  $Ar_3$ - und der  $Ar_1$ -Transformationstemperatur).

Um die Zähigkeit bei Umgebungstemperaturen und tiefen Temperaturen sicherzustellen, weist die Mikrostruktur der zweiten Phase in Stählen gemäss diesem dritten Stahlbeispiel überwiegend feinkörniges niedrigeres Bainit, feinkörniges Martensit, oder deren Mischungen auf. Es ist vorzuziehen, die Ausbildung von Versprödungsbestandteilen im Wesentlichen zu minimieren, beispielsweise oberes Bainit, Zwillings-Martensit und MA, in der zweiten Phase. Bei diesem dritten Stahlbeispiel und in den Patentansprüchen bedeutet «überwiegend» zumindest etwa 50 Vol.-%. Der Rest der Mikrostruktur der zweiten Phase kann zusätzliches feinkörniges niedrigeres Bainit enthalten, zusätzliches feinkörniges Martensit oder Ferrit. Besonders bevorzugt weist die Mikrostruktur der zweiten Phase zumindest etwa 60 Vol.-% bis etwa 80 Vol.-% feinkörniges niedrigeres Bainit, feinkörniges Martensit, oder deren Mischungen auf. Ganz besonders bevorzugt weist die Mikrostruktur der zweiten Phase zumindest etwa 90 Vol.-% feinkörniges niedrigeres Bainit auf, feinkörniges Martensit, oder deren Mischungen.

Ein Stahlbarren, der entsprechend diesem dritten Stahlbeispiel verarbeitet wird, wird auf übliche Art und Weise hergestellt, und weist bei einer Ausführungsform Eisen und die folgenden Legierungselemente auf, vorzugsweise in den Gewichtsbereichen, die in der nachstehenden Tabelle III angegeben sind.

Tabelle 3

|    | Legierungselement                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Bereich (Gew.-%)                   |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 5  | Kohlenstoff (C)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0,04–0,12, bevorzugt 0,4–0,07      |
|    | Mangan (Mn)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0,5–2,5, bevorzugt 1,0–1,8         |
|    | Nickel (Ni)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1,0–3,0, bevorzugt 1,5–2,5         |
|    | Niob (Nb)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0,02–0,1, bevorzugt 0,02–0,05      |
| 10 | Titan (Ti)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,008–0,03, bevorzugt 0,01–0,02    |
|    | Aluminium (Al)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0,001–0,05, bevorzugt 0,005–0,03   |
|    | Stickstoff (N)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0,002–0,005, bevorzugt 0,002–0,003 |
| 15 | <p>Chrom (Cr) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise bis zu etwa 1,0 Gew.-%, und besonders bevorzugt etwa 0,2 Gew.-% bis etwa 0,6 Gew.-%.</p> <p>Molybdän (Mo) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise bis zu etwa 0,8 Gew.-%, und besonders bevorzugt etwa 0,1 Gew.-% bis etwa 0,3 Gew.-%.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                    |
| 20 | <p>Silizium (Si) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise bis zu etwa 0,5 Gew.-%, bevorzugter etwa 0,01 Gew.-% bis etwa 0,5 Gew.-%, und ganz besonders bevorzugt etwa 0,05 Gew.-% bis etwa 0,1 Gew.-%.</p> <p>Kupfer (Cu) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise im Bereich von etwa 0,1 Gew.-% bis etwa 1,0 Gew.-%, bevorzugter im Bereich von etwa 0,2 Gew.-% bis etwa 0,4 Gew.-%.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                    |
| 25 | <p>Bor (B) wird manchmal dem Stahl hinzugefügt, vorzugsweise bis zu etwa 0,0020 Gew.-%, und besonders bevorzugt etwa 0,0006 Gew.-% bis etwa 0,0010 Gew.-%.</p> <p>Der Stahl enthält vorzugsweise zumindest etwa 1 Gew.-% Nickel.</p> <p>Der Nickelgehalt des Stahls kann auf mehr als etwa 3 Gew.-% erhöht werden, falls es erwünscht ist, die Leistung nach dem Schweißen zu verbessern. Von jeder Hinzufügung von Nickel um 1 Gew.-%</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                    |
| 30 | <p>wird erwartet, dass hierdurch die DBTT des Stahls um etwa 10°C (18°F) verringert wird. Der Nickelgehalt beträgt vorzugsweise weniger als 9 Gew.-%, besonders bevorzugt weniger als etwa 6 Gew.-%. Der Nickelgehalt wird vorzugsweise minimiert, um die Kosten des Stahls zu minimieren. Wenn der Nickelgehalt auf mehr als etwa 3 Gew.-% erhöht wird, kann der Mangangehalt bis auf unterhalb etwa 0,5 Gew.-% verringert werden, bis herunter zu 0,0 Gew.-%. Allgemein gesprochen wird daher vorgezogen,</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                    |
| 35 | <p>bis zu etwa 2,5 Gew.-% Mangan einzusetzen.</p> <p>Darüber hinaus werden Restbestandteile vorzugsweise im Stahl im Wesentlichen minimiert. Der Gehalt an Phosphor (P) beträgt vorzugsweise weniger als etwa 0,01 Gew.-%. Der Gehalt an Schwefel (S) beträgt vorzugsweise weniger als etwa 0,004 Gew.-%. Der Gehalt an Sauerstoff (O) beträgt vorzugsweise weniger als 0,002 Gew.-%.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                    |
| 40 | <p>Um einige weitere Einzelheiten zu schildern, wird ein Stahl gemäss diesem dritten Stahlbeispiel dadurch hergestellt, dass ein Barren mit der gewünschten Zusammensetzung, wie hier beschrieben, ausgebildet wird; der Barren auf eine Temperatur von etwa 955°C bis etwa 1065°C (1750°F bis 1950°F) erhitzt wird; der Barren heissgewalzt wird, um eine Stahlplatte in einem oder mehreren Durchgängen auszubilden, mit einer Verkleinerung um etwa 30% bis etwa 70% in einem ersten Temperaturbereich, in</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |
| 45 | <p>welchem Austenit rekristallisiert, also oberhalb der etwa <math>T_{Nr}</math>-Temperatur, weiteres Heisswalzen der Stahlplatte in einem oder mehreren Durchgängen, mit einer Verkleinerung von etwa 40% bis etwa 80%, in einem zweiten Temperaturbereich unterhalb etwa der <math>T_{Nr}</math>-Temperatur und oberhalb etwa der <math>AR_3</math>-Transformationstemperatur, und Fertigwalzen der Stahlplatte in einem oder mehreren Durchgängen, um eine Verkleinerung um etwa 15% bis etwa 50% zur Verfügung zu stellen, in dem interkritischen</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                    |
| 50 | <p>Temperaturbereich unterhalb etwa der <math>A_1</math>-Transformationstemperatur und oberhalb etwa der <math>AR_1</math>-Transformationstemperatur. Die heissgewalzte Stahlplatte wird dann abgeschreckt, mit einer Kühlrate von etwa 10°C/sek. bis etwa 40°C/sek. (18°F/sek. bis 72°F/sek.), auf eine geeignete Abschreckstopptemperatur (QST), die vorzugsweise unterhalb etwa der <math>M_s</math>-Transformationstemperatur +200°C (360°F) liegt, und an diesem Zeitpunkt wird das Abschrecken beendet. Bei einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung liegt die QST vorzugsweise unterhalb etwa der <math>M_s</math>-Transformationstemperatur + 100°C (180°F), und liegt besonders bevorzugt unterhalb etwa 350°C (662°F). Bei einer Ausführungsform dieses dritten Stahlbeispiels lässt man die Stahlplatte mittels Luftkühlung auf Umgebungstemperatur abkühlen, nachdem das Abschrecken beendet ist. Bei den drei voranstehenden Beispielen für Stähle beträgt, da Ni ein teures Legierungselement darstellt, der Ni-Gehalt des Stahls vorzugsweise weniger</p> |                                    |
| 60 | <p>als etwa 3 Gew.-%, weiter bevorzugt weniger als etwa 2,5 Gew.-%, besonders bevorzugt weniger als etwa 2,0 Gew.-%, und ganz besonders bevorzugt weniger als etwa 1,8 Gew.-%, um die Kosten des Stahls wesentlich zu minimieren.</p> <p>Andere geeignete Stähle zum Einsatz in Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung sind in anderen Publikationen beschrieben, welche ultrahochfeste, niedriglegierte Stähle beschreiben, die weniger als</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                    |
| 65 | <p>etwa 1 Gew.-% Nickel enthalten, Zugfestigkeiten von mehr 830 MPa (120 ksi) aufweisen, und eine her-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                    |

vorragende Tieftemperaturzähigkeit aufweisen. Zum Beispiel sind derartige Stähle in einer europäischen Patentanmeldung beschrieben, die am 5. Februar 1997 veröffentlicht wurde, und die internationale Anmelde-Nr. PCT/JP96/00 157 aufweist, und die internationale Veröffentlichungs-Nr. WO96/23 909 (Amtsblatt 1996/36 vom 08.08.1996) (derartige Stähle weisen vorzugsweise einen Kupfergehalt von 0,1 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% auf), und in einer anhängigen provisorischen US-Patentanmeldung mit einem

Prioritätsdatum vom 28. Juli 1997, mit dem Titel «Ultra-High Strength, Weldable Steels with Excellent Ultra-Low Temperature Toughness», die von dem USPTO unter der Anmelde-Nr. 60/053 915 geführt wird. Bei jedem der voranstehenden geschilderten Stähle bezieht sich für Fachleute auf diesem Gebiet der hier verwendete Begriff «Prozentualverringerung der Dicke» auf die Prozentualverringerung der Dicke des Stahlbarrens oder der Platte vor der betreffenden Verringerung. Um dies anhand eines Beispiels zu erläutern, ohne hierdurch die Erfindung einzuschränken, kann ein Stahlbarren mit einer Dicke von etwa 25,4 cm (10 Zoll) um etwa 50% verkleinert werden (eine Verkleinerung um 50%), in einem ersten Temperaturbereich, auf eine Dicke von etwa 12,7 cm (5 Zoll), und dann um etwa 80% (eine Verkleinerung um 80%) verkleinert werden, in einem zweiten Temperaturbereich, auf eine Dicke von etwa 2,5 cm (1 Zoll). Als weiteres Beispiel, ohne hierdurch die Erfindung einzuschränken, kann ein Stahlbarren von etwa 25,4 cm (10 Zoll) um etwa 30% verkleinert werden (eine 30%ige Verkleinerung), in einem ersten Temperaturbereich, auf eine Dicke von etwa 17,8 cm (7 Zoll), dann um etwa 80% (eine 80%ige Verkleinerung) in einem zweiten Temperaturbereich auf eine Dicke von etwa 3,6 cm (1,4 Zoll) verkleinert werden, und darauf um etwa 30% verkleinert werden (eine 30%ige Verkleinerung), in einem dritten Temperaturbereich, auf eine Dicke von etwa 2,5 cm (1 Zoll). Hierbei ist mit «Barren» ein Stahlstück mit beliebigen Abmessungen gemeint.

Bei jedem der voranstehend geschilderten Stähle wird, wie Fachleute auf diesem Gebiet wissen, der Stahlbarren vorzugsweise durch eine geeignete Vorrichtung zum Erhöhen der Temperatur im Wesentlichen des gesamten Barrens erneut erhitzt, vorzugsweise des gesamten Barrens, auf die gewünschte Wiedererwärmungstemperatur, beispielsweise dadurch, dass der Barren über eine bestimmte Zeit in einen Ofen verbracht wird. Die spezifische Wiedererwärmungstemperatur, die für jede der voranstehend geschilderten Stahlzusammensetzungen verwendet werden sollte, kann von einem Fachmann auf dem Gebiet einfach bestimmt werden, entweder durch Versuche, oder durch Berechnungen unter Einsatz geeigneter Modelle. Darüber hinaus kann die Ofentemperatur und die Wiedererwärmungszeit, die dazu erforderlich sind, die Temperatur von im Wesentlichen dem gesamten Barren, vorzugsweise des gesamten Barrens, auf die gewünschte Wiedererwärmungstemperatur zu erhöhen, leicht von einem Fachmann bestimmt werden, durch Bezugnahme aus Standard-Industrieveröffentlichungen.

Bei jedem der voranstehend geschilderten Stähle, wie dies Fachleuten wohlbekannt ist, hängt der Temperaturbereich, der die Grenze zwischen dem Rekristallisationsbereich und dem Nicht-Rekristallisationsbereich festlegt, nämlich die  $T_{nr}$ -Temperatur, von der chemischen Zusammensetzung des Stahls ab, und spezieller von der Wiedererwärmungstemperatur vor dem Walzen, der Kohlenstoffkonzentration, der Niobkonzentration, und dem Ausmass der Verkleinerung, das bei den Walzdurchgängen erfolgt. Fachleute können diese Temperatur für jede Stahlzusammensetzung entweder durch Versuche oder durch Modellrechnungen bestimmen. Entsprechend können die  $Ac_1$ -,  $Ar_1$ -,  $Ar_3$ - und  $M_s$ -Transformations Temperaturen, die hier geschildert wurden, von Fachleuten für jede Stahlzusammensetzung bestimmt werden, entweder durch Versuche oder durch Modellrechnungen.

Bei jedem der voranstehend geschilderten Stähle sind, wie dies Fachleute wissen, mit Ausnahme der Wiedererwärmungstemperatur, die im Wesentlichen den gesamten Barren betrifft, nachfolgende Temperaturen, die zur Beschreibung der Verarbeitungsverfahren gemäss der vorliegenden Erfindung verwendet werden, Temperaturen, die an der Oberfläche des Stahls gemessen werden. Die Oberflächentemperatur von Stahl kann beispielsweise durch Einsatz eines optischen Pyrometers gemessen werden oder durch jedes andere Gerät, das zur Messung der Oberflächentemperatur von Stahl geeignet ist. Die hier angegebenen Abkühlraten sind jene im Zentrum, oder im Wesentlichen im Zentrum, in Bezug auf die Dicke der Platte; und die Abschreckstopptemperatur (QST) ist die höchste, oder im Wesentlichen die höchste, Temperatur, die an der Oberfläche der Platte erreicht wird, nachdem mit dem Abschrecken aufgehört wurde, infolge der Wärme, die von dem Bereich in der Mitte der Platte übertragen wird. Zum Beispiel wird während der Verarbeitung von Versuchsstücken einer Stahlzusammensetzung gemäss den hier dargestellten Beispielen ein Thermoelement im Zentrum oder im Wesentlichen im Zentrum der Dicke der Stahlplatte angebracht, um die Temperatur im Zentrum zu messen, während die Oberflächentemperatur durch Einsatz eines optischen Pyrometers gemessen wird. Es wird eine Korrelation zwischen der Zentrumstemperatur und der Oberflächentemperatur zur Verwendung während der späteren Verarbeitung derselben, oder im Wesentlichen derselben, Stahlzusammensetzung entwickelt, so dass die Temperatur im Zentrum über eine direkte Messung der Oberflächentemperatur bestimmt werden kann. Weiterhin kann die erforderliche Temperatur und Flussrate des Abschreckfluids, um die gewünschte Beschleunigung der Abkühlrate zu erzielen, von einem Fachmann durch Bezugnahme auf Standard-Industrieveröffentlichungen bestimmt werden.

Ein Fachmann hat die erforderlichen Kenntnisse und Fähigkeiten, um die hier zur Verfügung gestellte Information dazu einzusetzen, ultrahochfeste, niedriglegierte Stahlplatten herzustellen, die eine geeignete hohe Festigkeit und Zähigkeit zur Verwendung bei der Konstruktion der Rohre und anderen Bauteile der vorliegenden Erfindung aufweisen. Andere geeignete Stähle können vorhanden sein, oder

später entwickelt werden. Alle derartigen Stähle liegen innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung.

Ein Fachmann weist die erforderlichen Kenntnisse und Fähigkeiten auf, die hier bereitgestellte Information dazu zu verwenden, um ultrahochfeste, niedriglegierte Stahlplatten hierzustellen, die modifizierte Dicken aufweisen, verglichen mit den Dicken jener Stahlplatten, die gemäss den hier vorgestellten Beispielen hergestellt werden, und immer noch Stahlplatten herstellen, die eine geeignete hohe Festigkeit und eine geeignete Tieftemperaturzähigkeit zur Verwendung in der Vorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung aufweisen. Beispielsweise kann ein Fachmann die hier bereitgestellte Information dazu einsetzen, eine Stahlplatte mit einer Dicke von etwa 2,54 cm (1 Zoll) und geeigneter hoher Festigkeit und geeigneter Tieftemperaturzähigkeit zur Verwendung bei der Konstruktion der Rohre und anderen Bauteile der vorliegenden Erfindung herzustellen. Andere geeignete Stähle können vorhanden sein, oder später entwickelt werden. Alle derartigen Stähle liegen innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung.

Wenn ein Zweiphasenstahl bei der Konstruktion von Rohren gemäss der vorliegenden Erfindung verwendet wird, wird der Zweiphasenstahl vorzugsweise auf solche Weise verarbeitet, dass der Zeitraum, in welchem der Stahl in dem interkritischen Temperaturbereich gehalten wird, um die Zweiphasenstruktur auszubilden, vor dem Schritt der beschleunigten Abkühlung oder Abschreckung liegt. Vorzugsweise wird die Verarbeitung so vorgenommen, dass die Zweiphasenstruktur während der Abkühlung des Stahls ausgebildet wird, zwischen der  $A_{r3}$ -Transformations-temperatur und etwa  $A_{r1}$ -Transformations-temperatur. Weiterhin wird in Bezug auf Stähle, die bei der Konstruktion von Rohren gemäss der vorliegenden Erfindung verwendet werden, vorgezogen, dass der Stahl eine Zugfestigkeit von mehr als 830 MPa (120 ksi) aufweist, und eine DBTT von weniger als etwa  $-73^{\circ}\text{C}$  ( $-100^{\circ}\text{F}$ ), nach Beendigung des Schrittes der beschleunigten Abkühlung oder Abschreckung, also ohne irgendeine zusätzliche Verarbeitung, welche eine erneute Erwärmung des Stahls erfordert, beispielsweise Tempern. Besonders bevorzugt trägt die Zugfestigkeit des Stahls nach Beendigung des Abschreck- oder Abkühlschrittes mehr als etwa 860 MPa (125 ksi), und besonders bevorzugt mehr als etwa 900 MPa (130 ksi). Bei einigen Anwendungen ist ein Stahl vorzuziehen, der eine Zugfestigkeit von mehr als etwa 930 MPa (135 ksi) aufweist, oder mehr als etwa 965 MPa (140 ksi), oder mehr als etwa 1000 MPa (145 ksi), nach Beendigung des Abschreck- oder Abkühlschrittes.

Verbindungsverfahren für die Konstruktion von Behältern der Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff

Um die Behälter der Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und anderen Bauteilen gemäss der vorliegenden Erfindung zu konstruieren, ist ein geeignetes Verfahren zum Verbinden der Stahlplatten erforderlich. Jedes Verbindungsverfahren, welches Nähte mit geeigneter Festigkeit und Zähigkeit für die vorliegende Erfindung zur Verfügung stellt, wie dies voranstehend geschildert wurde, wird als geeignet angesehen. Vorzugsweise wird ein Schweissverfahren, welches dazu geeignet ist, die ausreichende Festigkeit und Bruchzähigkeit zur Verfügung zu stellen, um das Fluid festzuhalten, welches aufgenommen oder transportiert wird, zum Konstruieren der Behälter des Systems zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und anderen Bauteilen gemäss der vorliegenden Erfindung verwendet. Ein derartiges Schweissverfahren, umfasst vorzugsweise ein geeignetes Drahtverbrauchsmaterial, ein geeignetes Verbrauchsgas, ein geeignetes Schweissverfahren, und eine geeignete Schweissprozedur. Beispielsweise können sowohl Gasmetallichtbogenschweissen (GMAW) als auch Wolfram inertgas-schweissen (TIG), die beide in der Stahlherstellungsindustrie wohlbekannt sind, zur Verbindung der Stahlplatten eingesetzt werden, unter der Voraussetzung, dass eine geeignete Kombination aus Verbrauchsdraht und Gas eingesetzt wird.

Im ersten Beispiel für ein Schweissverfahren wird das Verfahren des Gasmetallichtbogenschweissens (GMAW) dazu eingesetzt, eine chemische Schweissmetallzusammensetzung zu erzeugen, die Eisen und etwa 0,07 Gew.-% Kohlenstoff, etwa 2,05 Gew.-% Mangan, etwa 0,32 Gew.-% Silizium, etwa 2,20 Gew.-% Nickel, etwa 0,45 Gew.-% Chrom, etwa 0,56 Gew.-% Molybdän, weniger als etwa 110 ppm Phosphor, und weniger als etwa 50 ppm Schwefel enthält. Das Schweissen erfolgt auf einem Stahl, beispielsweise einem der voranstehend geschilderten Stähle, unter Verwendung eines Schutzgases auf Argongrundlage, mit weniger als etwa 1 Gew.-% Sauerstoff. Die zugeführte Schweissenergie liegt im Bereich von etwa 0,3 kJ/mm bis etwa 1,5 kJ/mm (7,6 kJ/Zoll bis 38 kJ/Zoll). Das Schweissen mit diesem Verfahren stellt eine Schweissung (vgl. das Glossar) zur Verfügung, die eine Zugfestigkeit von mehr als etwa 900 MPa (130 ksi) aufweist, bevorzugt mehr als etwa 930 MPa (135 ksi), noch bevorzugter mehr als etwa 965 MPa (140 ksi), und ganz besonders bevorzugt zumindest etwa 1000 MPa (145 ksi). Weiterhin stellt das Schweissen diesem Verfahren ein Schweissmetall zur Verfügung, welches eine DBTT von unterhalb etwa  $-73^{\circ}\text{C}$  ( $-100^{\circ}\text{F}$ ) aufweist, vorzugsweise unterhalb von etwa  $-96^{\circ}\text{C}$  ( $-140^{\circ}\text{F}$ ), besonders bevorzugt unterhalb von etwa  $-106^{\circ}\text{C}$  ( $-160^{\circ}\text{F}$ ), und ganz besonders bevorzugt unterhalb von etwa  $-115^{\circ}\text{C}$  ( $-175^{\circ}\text{F}$ ).

Bei einem anderen Beispiel für das Schweissverfahren wird das GMAW-Verfahren dazu verwendet, eine chemische Zusammensetzung des Schweissmetalls zu erzeugen, bei welcher Eisen, und etwa 0,01 Gew.-% Kohlenstoff vorhanden sind (vorzugsweise weniger als etwa 0,10 Gew.-% Kohlenstoff, be-

sonders bevorzugt zwischen etwa 0,07 bis 0,08 Gew.-% Kohlenstoff), etwa 1,60 Gew.-% Mangan, etwa 0,25 Gew.-% Silizium, etwa 1,9 Gew.-% Nickel, etwa 0,87 Gew.-% Chrom, etwa 0,51 Gew.-% Molybdän, weniger als etwa 75 ppm Phosphor und weniger als etwa 100 ppm Schwefel. Die zugeführte Schweißenergie liegt im Bereich von etwa 0,3 kJ/mm bis etwa 1,5 kJ/mm (7,6 kJ/Zoll bis 38 kJ/Zoll, und es wird eine Vorerwärmung von etwa 100°C (212°F) eingesetzt. Das Schweißen erfolgt auf einem Stahl, beispielsweise einem der voranstehend geschilderten Stähle, unter Verwendung eines Schutzgases auf Argongrundlage mit weniger als etwa 1 Gew.-% Sauerstoff. Das Schweißen mit diesem Verfahren stellt eine Schweißung mit einer Zugfestigkeit von mehr als etwa 900 MPa (130 ksi) zur Verfügung, bevorzugt von mehr als etwa 930 MPa (135 ksi), noch bevorzugter von etwas mehr als 965 MPa (140 ksi), und ganz besonders bevorzugt von zumindest etwa 1000 MPa (145 ksi). Darüber hinaus stellt das Schweißen mit diesem Verfahren ein Schweißmetall mit einer DBTT zur Verfügung, die unterhalb von etwa -73°C (-100°F) liegt, vorzugsweise unterhalb von etwa -96°C (-140°F), besonders bevorzugt unterhalb von etwa -106°C (-160°F) bevorzugt unterhalb von etwa -115°C (-175°F).

Bei einem weiteren Beispiel für das Schweißverfahren wird das Wolfram inertgasschweißverfahren (TIG-Verfahren) dazu eingesetzt, eine chemische Zusammensetzung des Schweißmetalls zu erzeugen, bei welcher Eisen und etwa 0,07 Gew.-% Kohlenstoff vorgesehen sind (vorzugsweise weniger als etwa 0,07 Gew.-% Kohlenstoff), etwa 1,80 Gew.-% Mangan, etwa 0,20 Gew.-% Silizium, etwa 4,00 Gew.-% Nickel, etwa 0,5 Gew.-% Chrom, etwa 0,40 Gew.-% Molybdän, etwa 0,02 Gew.-% Kupfer, etwa 0,2 Gew.-% Aluminium, etwa 0,010 Gew.-% Titan, etwa 0,015 Gew.-% Zirkonium (Zr), weniger als etwa 50 ppm Phosphor, und weniger als etwa 30 ppm Schwefel. Die zugeführte Schweißenergie liegt im Bereich von etwa 0,3 kJ/mm bis etwa 1,5 kJ/mm (7,6 kJ/Zoll bis 38 kJ/Zoll), und es wird eine Vorerwärmung von etwa 100°C (212°F) eingesetzt. Das Schweißen erfolgt auf einem Stahl, beispielsweise einem der voranstehend geschilderten Stähle, unter Verwendung eines Schutzgases auf Argongrundlage mit weniger als etwa 1 Gew.-% Sauerstoff. Das Schweißen mit diesem Verfahren stellt eine Schweißung zur Verfügung, die eine Zugfestigkeit von mehr als etwa 900 MPa (130 ksi) aufweist, vorzugsweise mehr als etwa 930 MPa (135 ksi), besonders bevorzugt mehr als etwa 965 MPa (140 ksi), und ganz besonders bevorzugt zumindest etwa 1000 MPa (145 ksi). Darüber hinaus stellt das Schweißen mit diesem Verfahren ein Schweißmetall zur Verfügung, welches eine DBTT unterhalb von etwa -73°C (-100°F) aufweist, vorzugsweise unterhalb von etwa -96°C (-140°F), besonders bevorzugt unterhalb von etwa -106°C (-160°F), und ganz besonders bevorzugt unterhalb von etwa -115°C (-175°F).

Entsprechende chemische Zusammensetzungen des Schweißmetalls wie jene, die bei den Beispielen geschildert wurden, können unter Verwendung entweder des GMAW- oder des TIG-Schweißverfahrens hergestellt werden. Allerdings wird von TIG-Schweißungen angenommen, dass sie einen niedrigeren Gehalt an Verunreinigungen aufweisen, und eine stärker verfeinerte Mikrostruktur als die GMAW-Schweißungen, und daher eine verbesserte Tieftemperaturzähigkeit.

Ein Fachmann hat die erforderlichen Kenntnisse und Fähigkeiten, die hier bereitgestellte Information dazu zu verwenden, um ultrahochfeste, niedriglegierte Stahlplatten so zu schweißen, dass Schweißnähte erzeugt werden, die eine geeignete hohe Festigkeit und Bruchzähigkeit zur Verwendung beim Konstruieren der Rohre und anderer Bauteile der vorliegenden Erfindung aufweisen. Andere geeignete Verbindungs- oder Schweißverfahren können existieren, oder später entwickelt werden. Alle derartigen Verbindungs- oder Schweißverfahren liegen innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung.

Konstruktion von Behältern für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und anderen Bauteilen

Ohne hierdurch die vorliegende Erfindung einzuschränken, werden zur Verfügung gestellt: Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und andere Bauteile, die (i) aus Materialien konstruiert sind, die ultrahochfeste, niedriglegierte Stähle aufweisen, die weniger als 9 Gew.-% Nickel enthalten, und (ii) eine ausreichende Festigkeit und Tieftemperaturbruchzähigkeit aufweisen, um Tieftemperaturfluide aufzunehmen, insbesondere PLNG; darüber hinaus Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und andere Bauteile, die aus Materialien konstruiert sind, die ultrahochfeste, niedriglegierte Stähle umfassen, die weniger als 9 Gew.-% Nickel enthalten, und eine Zugfestigkeit von mehr als 830 MPa (120 ksi) und eine DBTT von weniger als etwa -73°C (100°F) aufweisen; weiterhin Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und andere Bauteile, die (i) aus Materialien konstruiert sind, die ultrahochfeste, niedriglegierte Stähle umfassen, die weniger als etwa 3 Gew.-% Nickel enthalten, und (ii) ausreichende Festigkeit und Tieftemperaturbruchzähigkeit aufweisen, um Tieftemperaturfluide aufzunehmen, insbesondere PLNG; und darüber hinaus Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und andere Bauteile, die (i) aus Materialien konstruiert sind, sind ultrahochfeste, niedriglegierte Stähle umfassen, weniger als etwa 3 Gew.-% Nickel enthalten, und (ii) Zugfestigkeiten aufweisen, die mehr als etwa 1000 MPa (145 ksi) betragen, sowie DBTTs, die niedriger sind als etwa -73°C (-100°F). Derartige Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und andere Bauteile werden vorzugsweise aus den hier beschriebenen ultrahochfesten, niedriglegierten Stählen mit hervorragender Tieftemperaturzähigkeit konstruiert.

Die Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und andere Bauteile der vorliegenden Erfindung werden vorzugsweise aus diskreten Platten aus ultrahochfestem, niedriglegier-

tem Stahl mit hervorragender Tieftemperaturzähigkeit konstruiert. Soweit anwendbar, weisen die Nähte der Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und andere Bauteile, soweit vorhanden, vorzugsweise etwa dieselbe Festigkeit und Zähigkeit auf wie die ultrahochfesten, niedriglegierten Stahlplatten. In einigen Fällen kann eine Unterschreitung der Festigkeit in der Grössenordnung von etwa 5% bis etwa 10% für Orte mit geringeren Belastungen gerechtfertigt sein. Nähte mit den bevorzugten Eigenschaften können durch jedes geeignete Verbindungsverfahren hergestellt werden. Beispiele für Verbindungsverfahren sind hier beschrieben, unter dem Untertitel «Verbindungsverfahren zur Konstruktion von Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff und anderen Bauteilen».

Wie Fachleute wissen, kann der Charpy-V-Kerben-Test (CVN-Test) zum Zwecke der Beurteilung der Bruchzähigkeit und zur Bruchsteuerung bei der Konstruktion von Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff zum Transport von Tieftemperaturfluiden unter Druck, beispielsweise PLNG, eingesetzt werden, insbesondere durch Einsatz der Duktil-Spröd-Übergangstemperatur (DBTT). Die DBTT unterteilt zwei Bruchbereiche in Baustählen. Bei Temperaturen unterhalb der DBTT tritt ein Ausfall in dem Charpy-V-Kerben-Test durch Bruch bei Spaltbildung (Versprödung) bei niedriger Energie auf, wogegen bei Temperaturen oberhalb der DBTT ein Ausfall durch einen duktilen Bruch bei hoher Energie auftritt. Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff, die aus geschweissten Stählen hergestellt sind, für den Transport von PLNG, und für andere Tieftemperatureinsätze unter Lastbeaufschlagung, müssen DBTTs aufweisen, bestimmt durch den Charpy-V-Kerben-Test, die deutlich unterhalb der Einsatztemperatur der Anordnung liegen, um einen Sprödbruch zu vermeiden. Abhängig von dem Entwurf, den Einsatzbedingungen, und/oder den Anforderungen der betreffenden Klassifikationsgesellschaft, kann sich die erforderliche DBTT-Temperatur um 5°C bis 30°C (9°F bis 54°F) unterhalb der Einsatztemperatur verschieben.

Fachleuten auf diesem Gebiet ist es bekannt, dass die Betriebsbedingungen, die bei dem Entwurf von Behälter für die Vorrichtung zum Speichern und Liefern von Kraftstoff berücksichtigt werden, die aus geschweisstem Stahl konstruiert sind, und zum Transport von Tieftemperaturfluiden unter Druck dienen, beispielsweise PLNG, unter anderem den Betriebsdruck und die Betriebstemperatur umfassen, sowie zusätzliche Spannungen, die auf den Stahl und die Schweissungen (vgl. das Glossar) einwirken können. Standardbruchmechanikmessungen, beispielsweise (i) der kritische Spannungsintensitätsfaktor ( $K_{IC}$ ), der ein Mass für die Verformungsbruchzähigkeit in der Ebene darstellt, und (ii) die Spaltspitzenöffnungsverschiebung (CTOD), die zur Messung der elastisch-plastischen Bruchzähigkeit verwendet werden kann, und die bei den Fachleuten bekannt sind, können dazu eingesetzt werden, die Bruchzähigkeit des Stahls und der Schweissungen zu bestimmen. Industrienormen, die allgemein für Stahlstrukturentwürfe akzeptiert werden, wie beispielsweise beschrieben in der BSI-Veröffentlichung «Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures», häufig bezeichnet als «PD6493: 1991», können dazu verwendet werden, die maximal zulässigen Fehlstellengrößen für den Behälter zu bestimmen, auf der Grundlage der Bruchzähigkeit des Stahls und der Schweissung (einschliesslich der HAZ) und der auf den Behälter einwirkenden Spannungen. Ein Fachmann kann ein Bruchsteuerprogramm entwickeln, um das Einleiten von Brüchen abzumildern, durch (i) geeigneten Behälterentwurf zum Minimieren einwirkender Spannungen, (ii) geeignete Herstellungsqualitätskontrolle zum Minimieren von Defekten, (iii) geeignete Kontrolle von Lebensdauerzyklusbelastungen und Drücken, die auf den Behälter einwirken, und (iv) ein geeignetes Inspektionsprogramm, um verlässlich Fehlstellen und Defekte in dem Behälter festzustellen. Eine bevorzugte Konstruktionsphilosophie für das System der vorliegenden Erfindung ist «Leck vor dem Ausfall», wie dies Fachleuten bekannt ist. Diese Überlegungen werden hier allgemein als «bekannte Prinzipien der Bruchmechanik» bezeichnet.

Nachstehend erfolgt ein nicht einschränkendes Beispiel für den Einsatz dieser bekannten Prinzipien der Bruchmechanik bei einer Prozedur zur Berechnung der kritischen Fehlstellentiefe für eine vorgegebene Fehlstellenlänge, zum Einsatz in einem Bruchkontrollplan, um die Einleitung eines Bruchs in einem Behälter gemäss der vorliegenden Erfindung zu verhindern. Fig. 4B zeigt eine Fehlstelle mit einer Fehlstellenlänge 315 und einer Fehlstellentiefe 310. PD6493 wird zur Berechnung von Werten für das Diagramm 300 für die kritische Fehlstellengrösse verwendet, das in Fig. 4A gezeigt ist, auf der Grundlage der folgenden Konstruktionsbedingungen für ein Druckgefäss oder einen Behälter:

Gefässdurchmesser: 4,57 m (15 ft)  
 Gefässwanddicke: 25,4 mm (1,00 Zoll)  
 Auslegungsdruck: 3445 kPa (500 psi)  
 Umfangsspannung: 333 MPa (48,3 ksi)

Für den Zweck des vorliegenden Beispiels wird eine Oberflächenfehlstellenlänge von 100 mm (4 Zoll) angenommen, beispielsweise eine Axialfehlstelle, die sich in einer Schweissung befindet. In Fig. 4A zeigt nunmehr das Diagramm 300 den Wert für die kritische Fehlstellentiefe als Funktion der CTOD-Bruchzähigkeit und der Restspannung, für Restspannungspegel von 15, 50, 75 und 100% der Streckgrenze. Restspannungen können infolge der Herstellung und des Schweissens erzeugt wer-

den; und PD6493 empfiehlt den Einsatz eines Restspannungswertes von 100% der Streckgrenze in Schweissungen (einschliesslich der Schweiss-HAZ), es sei denn, dass bei den Schweissungen eine Spannungsentlastung erfolgt, unter Einsatz von Verfahren, wie der Wärmebehandlung nach dem Schweißen (PWHT) oder mechanischer Spannungsentlastung.

5 Auf der Grundlage der CTOD-Bruchzähigkeit des Stahls bei der minimalen Einsatztemperatur können die Behälterschweissprozeduren so eingestellt werden, dass die Restspannungen verringert werden, und kann ein Inspektionsprogramm eingerichtet werden (sowohl für ursprüngliche Inspektion als auch für Inspektion im Einsatz), um Fehlstellen festzustellen und zu messen, um sie mit der kritischen Fehlstellengrösse zu vergleichen. Beim vorliegenden Beispiel, wenn der Stahl eine CTOD-Zähigkeit von 10 0,025 mm bei der minimalen Einsatztemperatur hat (gemessen unter Verwendung von Laborproben), und die Restspannungen auf 15% der Stahl-Ersatzstreckgrenze verringert werden, beträgt der Wert für 15 die kritische Fehlstellentiefe annähernd 4 mm (siehe Punkt 320 in Fig. 4A). Unter Durchführung entsprechender Berechnungsvorgänge, wie dies Fachleuten bekannt ist, können kritische Fehlstellentiefen für verschiedene Fehlstellenlängen und verschiedene Fehlstellengeometrien bestimmt werden. Unter Verwendung dieser Information kann ein Qualitätskontrollprogramm und Inspektionsprogramm (Verfahren, feststellbare Fehlstellenabmessungen, Häufigkeit) entwickelt werden, um sicherzustellen, dass Fehlstellen festgestellt und beseitigt werden, bevor die kritische Fehlstellentiefe erreicht wird, oder bevor die Nennbelastung einwirkt. Auf der Grundlage veröffentlichter, empirischer Korrelationen zwischen CVN,  $K_{IC}$  und CTOD-Bruchzähigkeit, ist die CTOD-Zähigkeit von 0,025 mm im Allgemeinen mit einem 20 CVN-Wert von etwa 37 J korreliert. Dieses Beispiel soll die Erfindung nicht irgendwie einschränken.

Bei Behältern und anderen Bauteilen, bei denen das Biegen des Stahls erforderlich ist, beispielsweise in Zylinderform für einen Behälter oder in eine Rohrform für ein Rohr, wird der Stahl vorzugsweise in die gewünschte Form bei Umgebungstemperatur gebogen, um zu verhindern, dass die hervorragende Tieftemperaturzähigkeit des Stahls negativ beeinflusst wird. Wenn der Stahl erwärmt werden muss, um 25 die gewünschte Form nach dem Biegen zu erzielen, wird der Stahl vorzugsweise auf eine Temperatur erwärmt, die nicht höher ist als etwa 600°C (1112°F), um die vorteilhaften Auswirkungen der Stahl-Mikrostruktur beizubehalten, die voranstehend geschildert wurden.

#### Beispiel für Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung

30 Nachstehend wird im Einzelnen eine Ausführungsform einer Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung zum Speichern von PLNG-Kraftstoff und zum Liefern von verdampftem PLNG-Kraftstoff auf Anforderung zur Verbrennung in einer Fahrzeugbrennkraftmaschine beschrieben, ebenso wie die zugehörigen, einzigartigen Vorteile. Bauteile der Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung, beispielsweise der Kraftstoffspeicherbehälter, Flüssigkeitsleitungen, Dampfleitungen und Verdampfer werden vorzugsweise aus den niedriglegierten, ultrahochfesten Stählen mit hervorragender Tieftemperaturzähigkeit konstruiert, die hier beschrieben werden, oder aus anderen Stählen, welche die gewünschten Eigenschaften aufweisen, die hier geschildert wurden. Bei Bauteilen, bei denen das Biegen des Stahls erforderlich ist, beispielsweise in Zylinderform für einen Behälter in Rohrform für ein 40 Rohr, wird der Stahl vorzugsweise in die gewünschte Form bei Umgebungstemperatur gebogen, um zu verhindern, dass die hervorragende Tieftemperaturzähigkeit des Stahls negativ beeinflusst wird. Wenn der Stahl erwärmt werden muss, um nach dem Biegen die gewünschte Form zu erzielen, wird der Stahl vorzugsweise auf eine Temperatur erwärmt, die nicht höher ist als etwa 600°C (1112°F), um die vorteilhaften Auswirkungen der Stahlmikrostruktur beizubehalten, wie dies voranstehend geschildert wurde.

#### Bauteile der Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung

In Fig. 1 weist die Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung gemäss diesem Beispiel einen Kraftstoffspeicherbehälter 10 auf. Der Kraftstoffspeicherbehälter 10 ist vorzugsweise ein isolierter Behälter des Dewar-Typs. Der Kraftstoffspeicherbehälter 10 ist an ein Füll- und Belüftungsventil 13 angeschlossen, über: (i) Dampfport 11, Dampfleitung 9 (gestrichelt), und Dampfventil 14, sowie (ii) Flüssigkeitsport 12, Flüssigkeitsleitung 8 (durchgezogen) und Flüssigkeitsventil 15. Drucksender 16 und 17 sind zwischen dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 und dem Füll- und Belüftungsventil 13 in der Flüssigkeitsleitung 8 bzw. der Dampfleitung 9 vorgesehen. Der Kraftstoffspeicherbehälter 10 ist mit dem Ansaugkrümmer einer Brennkraftmaschine 24 verbunden über den Flüssigkeitsport 12, die Flüssigkeitsleitung 8, das Flüssigkeits-Magnetventil 18, den Verdampfer 20, Kraftstoffleitung 4 (Strich-Punkt-Punkt), und den Kraftstoffregler 22. Der Kraftstoffspeicherbehälter 10 ist weiterhin an den Ansaugkrümmer der Brennkraftmaschine 10 angeschlossen über den Dampfport 11, die Dampfleitung 9, das Dampfventil 14, den Verdampfer 20, die Kraftstoffleitung 4, den Drucksender 21, und den Kraftstoffregler 22. Der Kraftstoffspeicherbehälter 10 ist weiterhin an das Sicherheitsentlastungsventil 26 über den Dampfport 11 und die Dampfleitung 9 angeschlossen. Die Kraftstoffspeicher-Liefervorrichtung, gemäss diesem Beispiel weist weiterhin einen Druckschalter 28 und eine Kraftstoffvorratsanzeige 29 auf. In der folgenden Beschreibung des Betriebs bei der Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung ist unter dem Begriff «geöffnet» in Bezug auf ein Ventil zu verstehen, dass dieses «zumindest teilweise» geöffnet ist, falls nicht 65 ausdrücklich anders angegeben.

### Anfangsfüllung des Kraftstoffspeicherbehälters

Vor der Anfangsfüllung befindet sich der Kraftstoffspeicherbehälter 10 typischerweise auf Atmosphärendruck und Umgebungstemperatur. Die Anfangsfüllung des Kraftstoffspeicherbehälters 10 wird vorzugsweise durch eine vorbestimmte Sequenz gesteuert. Die vorbestimmte Sequenz für die Anfangsfüllung wird vorzugsweise vorher in eine CPU 30 einprogrammiert (nicht in Fig. 1 gezeigt, vgl. Fig. 2), und wird bei einer Ausführungsform durch einen von Hand betätigten Schalter ausgelöst (nicht in den Zeichnungen dargestellt).

Typischerweise umfasst die vorgeschriebene Sequenz die folgenden Schritte in der angegebenen Reihenfolge. Zuerst wird in einem Abkühlzyklus für den Kraftstoffspeicherbehälter 10 das Dampfventil 14 geöffnet, um einen Fluss von dampfförmigem PLNG-Kraftstoff von einer Tankstelle (in den Zeichnungen nicht gezeigt) über das Füll- und Belüftungsventil 13, die Dampfleitung 9 und den Dampfport 11 in den Kraftstoffspeicherbehälter 10 einzurichten. Dieser Fluss von dampfförmigem PLNG-Kraftstoff wird fortgesetzt, bis die Temperatur im Kraftstoffspeicherbehälter 10 einen vorher eingestellten Temperaturwert erreicht. Der voreingestellte Temperaturwert wird hauptsächlich aufgrund der Abkühlkurve und der Wärmekontraktionseigenschaften des Materials bestimmt, aus welchem der Kraftstoffspeicherbehälter 10 konstruiert ist, und kann von Fachleuten unter Bezugnahme auf Standard-Industrieveröffentlichungen bestimmt werden. Dieser Fluss von dampfförmigem PLNG-Kraftstoff in den Speicherbehälter 10 erhöht darüber hinaus den Druck in dem Kraftstoffspeicherbehälter 10. Wenn die Temperatur in dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 den voreingestellten Temperaturwert erreicht, wird das Flüssigkeitsventil 15 geöffnet, um einen Fluss von flüssigem PLNG-Kraftstoff von der Tankstelle durch das Füll- und Belüftungsventil 13, die Flüssigkeitsleitung 8 und den Flüssigkeitsport 12 in den Kraftstoffspeicherbehälter 10 zu ermöglichen, für die endgültige Phase des Abkühlzyklus. Während der flüssige PLNG-Kraftstoff den Kraftstoffspeicherbehälter 10 abkühlt, verdampft der flüssige PLNG-Kraftstoff und trägt zum Druckaufbau bei. Nachdem der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 einen voreingestellten Druckwert erreicht, kehrt sich auf der Grundlage der Druckdifferenz zwischen dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 und der Tankstelle der Fluss des dampfförmigen PLNG-Kraftstoffs um, durch das Dampfventil 14 (also vom Kraftstoffspeicherbehälter 10 zur Tankstelle), und dann wird vorzugsweise das Dampfventil 14 vollständig geöffnet, um das Druckgleichgewicht zwischen dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 und der Tankstelle aufrechtzuerhalten. Das Flüssigkeitsventil 15 wird vorzugsweise vollständig geöffnet, wenn die Temperatur im Kraftstoffspeicherbehälter 10 einen voreingestellten Betriebstemperaturwert erreicht, also wenn der Abkühlzyklus beendet ist. Flüssiger PLNG-Kraftstoff fließt weiterhin in den Kraftstoffspeicherbehälter 10 hinein, von der Tankstelle aus, und verdrängt im Wesentlichen das gleiche Volumen an dampfförmigem PLNG-Kraftstoff von dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 zurück zur Tankstelle, bis ein Pegelsensor (in den Zeichnungen nicht gezeigt) detektiert, dass der flüssige PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 ein voreingestelltes Ausmass oder Volumen erreicht hat, und zu diesem Zeitpunkt werden sowohl das Dampfventil 14 als auch das Flüssigkeitsventil 15 geschlossen, um den Anfangsfüllvorgang zu beenden. Wie bei Tieftemperaturflüssigkeitsspeicherbehältern üblich, ist zumindest etwa 10% Dampfraum vorzugsweise in dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 nach Beendigung des Anfangsfüllvorgangs vorhanden, wie dies Fachleuten auf dem Gebiet der Speicherung von Tieftemperaturfluid bekannt ist.

### Vorrichtung Nachtankvorgang

Vor dem Beginn des Nachtankens misst, wobei sowohl das Dampfventil 14 als auch das Flüssigkeitsventil 15 geschlossen sind, und das Füll- und Belüftungsventil 13 geöffnet ist, der Drucksender 16 den Druck des PLNG-Kraftstoffs in der Tankstelle, und überträgt den Druck an die CPU 30 (nicht in Fig. 1 gezeigt, siehe Fig. 2), als ein Eingangssignal 31'. Weiterhin wird der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 vor dem Beginn des Nachtankens gemessen, und wird vorzugsweise ständig während des Nachtankens überwacht, durch den Drucksender 17, und an die CPU 30 als Eingangssignal 31 übertragen. Der Druck des PLNG-Kraftstoffs der Tankstelle bleibt während des Nachtankvorgangs im Wesentlichen konstant, im Vergleich zum Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10. Die CPU 30 misst daher kontinuierlich die Druckdifferenz zwischen der Tankstelle (Nachfüllstation) und dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 während des Nachtankvorgangs. Weiterhin überwacht die CPU 30 vorzugsweise kontinuierlich, also empfängt als ein Eingangssignal 31, den Pegel 7 des flüssigen PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10, über einen Pegelsensor, wie beispielsweise ein abgestimmtes Densitometer (nicht in den Zeichnungen dargestellt). Darüber hinaus ist vorzugsweise die CPU 30 mit einem eingestellten minimalen Nachtankdifferenzdruck vorprogrammiert, also der minimalen Druckdifferenz, die dazu erforderlich ist, die gewünschte Flussrate an flüssigem PLNG-Kraftstoff von der Tankstelle in den Speicherbehälter 10 ohne Zuhilfenahme einer Pumpe sicherzustellen. Falls die Druckdifferenz zwischen der Tankstelle und dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 geringer ist als ungefähr der eingestellte minimale Nachtankdifferenzdruck vor Beginn des Nachtankens, oder auf weniger als etwa den eingestellten minimalen Nachtankdifferenzdruck während des Nachtankens absinkt, führt die CPU 30 eine entsprechende Handhabung des Nachtankvorgangs durch, um sicherzustellen, dass die eingestellte, minimale Tankdruckdifferenz eingerichtet wird. Diese Werte für den Druck, die Druckdifferenz, den Flüssig-

keitspegel und den eingestellten minimalen Nachtankdifferenzdruck, werden von der CPU 30 dabei eingesetzt, den Nachtankvorgang zu managen, durch entsprechende Betätigung (Öffnen/Schliessen) der Ventile 14, 15, 18 und 19.

Die Nachtanksequenz, die bei der Kraftstoffspeicher- und Liefenvorrichtung gemäss diesem Beispiel eingesetzt wird, hängt von dem thermodynamischen Zustand des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 ab. Wie nachstehend genauer erläutert wird, ändert sich der Start der Sequenz in Abhängigkeit davon, ob der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10, hinzuaddiert zum minimalen Nachtankdifferenzdruck, im Vergleich zum Druck des PLNG-Kraftstoffs in der Tankstelle kleiner, gleich oder grösser ist.

Start, wenn der Kraftstoffspeicherbehälterdruck, addiert zum eingestellten minimalen Nachtankdruck, höher als der Tankstellendruck ist

Wenn die Eingangssignale 31 zur CPU 30 anzeigen, dass der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10, addiert zum eingestellten minimalen Nachtankdifferenzdruck, höher ist als ungefähr der Druck des PLNG-Kraftstoffs in der Tankstelle, wird zuerst das Dampfventil 14 geöffnet, um einen Fluss von dampfförmigem PLNG-Kraftstoff von dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 durch den Dampfport 11, die Dampfleitung 9 und das Füll- und Belüftungsventil 13 in die Tankstelle zu ermöglichen. Das Flüssigkeitsventil 15 wird geöffnet, wenn der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 im Wesentlichen dem Druck des PLNG-Kraftstoffs in der Tankstelle entspricht. Zusätzlich kommuniziert die CPU 30 mit der Tankstelle, mit Hilfe Fachleuten bekannter Mittel, beispielsweise einem elektronischen Signal, damit der Druck des PLNG-Kraftstoffs erhöht wird, zumindest um den eingestellten minimalen Nachtankdifferenzdruck, um einen Fluss von flüssigem PLNG-Kraftstoff von der Tankstelle durch das Füll- und Belüftungsventil 13, die Flüssigkeitsleitung 8 und den Flüssigkeitsport 11 in den Kraftstoffspeicherbehälter 10 zu ermöglichen.

Start, wenn der Kraftstoffspeicherbehälterdruck, addiert zum eingestellten minimalen Nachtankdruck, kleiner oder gleich dem Tankstellendruck ist

Wenn die Eingangssignale 31 zur CPU 30 anzeigen, dass der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10, addiert zum eingestellten minimalen Nachtankdifferenzdruck, kleiner oder gleich etwa dem Druck des PLNG-Kraftstoffs in der Tankstelle ist, wird zuerst das Flüssigkeitsventil 15 geöffnet, um einen Fluss von flüssigem PLNG-Kraftstoff von der Tankstelle durch das Füll- und Belüftungsventil 13 und die Flüssigkeitsleitung 8 in den Kraftstoffspeicherbehälter 10 zu ermöglichen, und den Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 zu erhöhen. Dann wird das Dampfventil 14 geöffnet, damit dampfförmiger PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 in die Tankstelle fliessen kann.

Die CPU 30 wird darüber hinaus vorzugsweise mit einem Wert für eine eingestellte maximale Druckdifferenz zwischen dem PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 und dem PLNG-Kraftstoff in der Tankstelle vorprogrammiert. Um einen übermässigen Temperaturabfall des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 infolge einer Abkühlung wegen des Joule-Thomson-Effekts zu verhindern, falls diese eingestellte maximale Druckdifferenz überschritten wird, wird bei geschlossenem Dampfventil 14 und geschlossenem Flüssigkeitsventil 15 flüssiger PLNG-Kraftstoff von dem Speicherbehälter 10 im Verdampfer 20 verdampft, und zum Kraftstoffspeicherbehälter 10 zurückgeführt, zur Druckerhöhung, durch geeignete Betätigung (Öffnen/Schliessen) des Flüssigkeitsmagnetventils 18 und des Dampfventils 14, wobei der Kraftstoffregler 22 vollständig geschlossen ist. Der Einsatz des Verdampfers 20 auf diese Art und Weise, mit einer relativ kurzen Flüssigkeitsleitung 8 und Dampfleitung 9, entspricht in der Funktion dem Vorhandensein eines Druckaufrechterhaltungsgerätes, beispielsweise einer Heizvorrichtung, im Speicherbehälter 10. Die Magnetventile 18 und 19 werden beide geschlossen, wenn der Differenzdruck zwischen PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 und in der Tankstelle unterhalb die eingestellte maximale Druckdifferenz verringert wird. Daraufhin wird das Flüssigkeitsventil 15 geöffnet, um einen Fluss von flüssigem PLNG-Kraftstoff von der Tankstelle in den Kraftstoffspeicherbehälter 10 zu ermöglichen. Dann wird das Dampfventil 14 geöffnet, damit dampfförmiger PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 in die Tankstelle fliessen kann.

Beendigung des Nachtankvorgangs

In sämtlichen Fällen schliesst während des Nachtankens, wenn der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 unter einen voreingestellten minimalen Druckwert absinkt (der ebenfalls vorzugsweise in der CPU 30 vorprogrammiert ist), das Dampfventil 14 zeitweilig, um einen Druckaufbau an PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 zu gestatten, vorzugsweise bis zumindest zum voreingestellten minimalen Druckwert. Anderenfalls wird, während flüssiger PLNG-Kraftstoff in den Kraftstoffspeicherbehälter 10 fliesst, dampfförmiger PLNG-Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 verdrängt, durch den Dampfport 11, die Dampfleitung 9, das Dampfventil 14, und das Füll- und Belüftungsventil 13, zur Tankstelle hin. Die Verdrängung des dampfförmigen PLNG-Kraftstoffs geht weiter, bis ein Pegelsensor (in den Zeichnungen nicht dargestellt) detektiert, dass flüssiger PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10

eine voreingestellte Menge oder ein voreingestelltes Volumen erreicht hat, und zu diesem Zeitpunkt werden sowohl das Dampfventil 14 als auch das Flüssigkeitsventil 15 geschlossen, um den Nachtankvorgang zu beenden. Wie üblich bei Tieftemperaturfluidspeicherbehältern, ist vorzugsweise zumindest etwa 10% Dampfraum im Kraftstoffspeicherbehälter 10 beim Nachtanken und nach dessen Beendigung verfügbar, wie dies Fachleuten auf dem Gebiet der Tieftemperaturfluidspeicherung bekannt ist.

#### Brennkraftmaschinen-/Fahrzeugbetrieb

##### Normaler Brennkraftmaschinen-/Fahrzeugbetrieb

Die Zufuhr von PLNG-Kraftstoff zur Brennkraftmaschine 24 wird vorzugsweise von der CPU 30 gehandhabt. Im Falle einer Fehlfunktion der CPU 30 hat der Druckschalter 28 eine Umgehungssteuerung über die Magnetventile 18 und 19, über die elektrische Verbindung 5. Typischerweise umfassen die Eingangssignale 31 zur CPU 30 im Normalbetrieb der Brennkraftmaschine 24 beispielsweise folgende Parameter der Brennkraftmaschine 24: Umdrehungen pro Minute und Belastung; normale Betriebsbedingungen des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10, etwa normale Betriebszustände in Bezug auf die Temperatur und den Druck des PLNG-Kraftstoffs; Auslasstemperatur des Verdampfers 20; und den Zustand des Kraftstoffreglers 22 (also geschlossen, 10% geöffnet usw.). Die CPU 30 verwendet diese Eingangssignale 31 zur Erzeugung von Ausgangssignalen 32 (siehe Fig. 2) zum Steuern des Kraftstoffreglers 22, des Sicherheitsentlastungsventils 26, und der Magnetventile 18 und 19, damit der Brennkraftmaschine 24 PLNG-Kraftstoff zur Verfügung gestellt wird, über den Dampfport 11, die Dampfleitung 9, den Flüssigkeitsport 12, die Flüssigkeitsleitung 8, den Verdampfer 20, die Kraftstoffleitung 4, und den PLNG-Kraftstoffregler 22.

Beispielsweise die Anforderung der Brennkraftmaschine 24 von PLNG-Kraftstoff für die Beschleunigung wird durch Lieferung von flüssigem PLNG-Kraftstoff vom Speicherbehälter 10 erfüllt. Das Flüssigkeitsmagnetventil 18 wird geöffnet, um einen Fluss von flüssigem PLNG-Kraftstoff durch den Flüssigkeitsport 12 und die Flüssigkeitsleitung 8 in den Verdampfer 20 hinein zu ermöglichen, wodurch der flüssige PLNG-Kraftstoff verdampft wird, und über die Kraftstoffleitung 4 und den Kraftstoffregler 22 abgemessen dem Ansaugkrümmer der Brennkraftmaschine 24 zugeführt wird. Verdampfter PLNG-Kraftstoff wird direkt den Kraftstoffinjektoren im Ansaugkrümmer zugeführt. Die Kraftstoffinjektoren können beispielsweise vom pulsierenden Typ sein, wie dies Fachleuten bekannt ist. Ungewöhnliche hohe Anforderungen von PLNG-Kraftstoff durch die Brennkraftmaschine 24 führen zu einem entsprechend hohen Ausfluss von flüssigem PLNG-Kraftstoff aus dem Speicherbehälter 10, was unter normalen Betriebsbedingungen zu einem signifikanten Druckabfall des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 führt. Der hohe Druckabfall wird von einem Temperaturabfall begleitet. Um irgendeine negative Auswirkung auf die Leistung des Konstruktionsmaterials des Kraftstoffspeicherbehälters 10 zu verhindern, die beispielsweise dadurch hervorgerufen wird, dass die Temperatur des flüssigen PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 signifikant unterhalb der DBTT des Konstruktionsmaterials abfällt, wird bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung das Dampfventil 19 geöffnet, um verdampften PLNG-Kraftstoff auf höherer Temperatur in den Dampfraum in dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 zurückzubringen, und hierdurch im Wesentlichen den Druck und die Temperatur des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 zu normalisieren. Bei einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Druckaufrechterhaltungsgerät (nicht in Fig. 1 gezeigt), beispielsweise eine Heizvorrichtung, ein integrales Teil des Kraftstoffspeicherbehälters 10.

Unter normalen Betriebsbedingungen für die Brennkraftmaschine 24, was einem normalen Bedarf von PLNG-Kraftstoff entspricht, wird eine geeignete Menge an flüssigem PLNG-Kraftstoff der Brennkraftmaschine 24 vom Kraftstoffspeicherbehälter 10 zugeführt. Das Flüssigkeitsmagnetventil 18 wird geöffnet, um einen Fluss von flüssigem PLNG-Kraftstoff durch den Flüssigkeitsport 12 und die Flüssigkeitsleitung 8 in den Verdampfer 20 zu ermöglichen, in welchem der flüssige PLNG-Kraftstoff verdampft wird, und über die Kraftstoffleitung 4 und den Kraftstoffregler 22 dem Ansaugkrümmer der Brennkraftmaschine 24 zugemessen wird. Der verdampfte PLNG-Kraftstoff wird direkt den Kraftstoffinjektoren im Ansaugkrümmer zugeführt. Wiederum wird der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 überwacht, und wird das Dampfventil 19 geöffnet, um verdampften PLNG-Kraftstoff in den Speicherbehälter 10 zurückzuschicken, falls dies dazu erforderlich ist, um die Regelung des Drucks und der Temperatur des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 zu unterstützen.

##### Brennkraftmaschinenleerlaufbetrieb

Unter Bedingungen mit verringerter Brennkraftmaschinenbelastung, beispielsweise im Leerlauf, ist der Bedarf an PLNG-Kraftstoff der Brennkraftmaschine 24 entsprechend verringert. Unter normalen Betriebsbedingungen in Bezug auf den Druck und die Temperatur des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 wird dieser verringerte Bedarf an PLNG-Kraftstoff vorzugsweise dadurch erfüllt, dass dampfförmiger PLNG-Kraftstoff zugeführt wird, von dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 durch den Dampfport 11, die Dampfleitung 9, den Verdampfer 20 (durch den der Dampf einfach hindurchgeht), die Kraftstoffleitung 4, und den Kraftstoffregler 22, wobei das Flüssigkeitsmagnetventil 18 geschlossen ist.

Liegt der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 unterhalb des normalen Betriebsdrucks, weist der dampfförmige PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 typischerweise einen höheren Anteil an Methan (und Stickstoff) auf als der flüssige PLNG-Kraftstoff. In Fällen, in welchen der Stickstoffgehalt in dem PLNG-Kraftstoff signifikant ist, ist der Heizwert des dampfförmigen PLNG-Kraftstoffs typischerweise niedriger, als dies für einen glatten Betrieb der Brennkraftmaschine 24 erwünscht ist. In derartigen Fällen wird, wenn der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 unterhalb des normalen Betriebsdrucks liegt, PLNG-Kraftstoff für den Leerlauf von dem flüssigen PLNG-Kraftstoff zugeführt, und wird der Kraftstoffregler 22 dazu verwendet, die kleine Menge an verdampftem, flüssigem PLNG-Kraftstoff zu kontrollieren, die im Leerlauf der Brennkraftmaschine 24 erforderlich ist. Gleichzeitig wird das Dampfmagnetventil 19 geöffnet, damit verdampfter PLNG-Kraftstoff auch in den Kraftstoffspeicherbehälter 10 zum Druckaufbau fließen kann. Vorzugsweise handhabt die CPU 30 die Betriebsabfolge der Ventile 18 und 19 so, dass eine geeignete Menge an verdampftem, flüssigem PLNG-Kraftstoff an die Brennkraftmaschine 24 geliefert wird, und der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 ordnungsgemäss gehandhabt wird.

Andererseits wird, wenn der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 höher als der normale Betriebsdruck ist, der Zusammensetzungsunterschied zwischen dampfförmigem PLNG-Kraftstoff und flüssigem PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 verringert, und wird entsprechend der Unterschied des Heizwertes zwischen diesen beiden Phasen entsprechend verringert. In diesem speziellen Fall wird dampfförmiger PLNG-Kraftstoff vorzugsweise direkt vom Kraftstoffspeicherbehälter 10 geliefert, über den Dampfport 11, die Dampfleitung 9, den Verdampfer 20 (durch den der Dampf hindurchgeht), die Kraftstoffleitung 4, und den Kraftstoffregler 22, an die Brennkraftmaschine 24, um den Druck von PLNG-Kraftstoff innerhalb des Speicherbehälters 10 auf den normalen Betriebsdruck zu verringern.

#### Brennkraftmaschinenanlassvorgang

Der Heizwert von PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 beim Anlassen der Brennkraftmaschine 24 hängt vom Anfangsdruck des PLNG-Kraftstoffs ab, also dem Druck unmittelbar vor dem Anlassen. Je niedriger der Druck ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass der dampfförmige PLNG-Kraftstoff einen grösseren Anteil an flüchtigeren Bestandteilen aufweist, wie Methan und Stickstoff, als der flüssige PLNG-Kraftstoff. Insbesondere, wenn der Stickstoffanteil in dem dampfförmigen PLNG-Kraftstoff beträchtlich ist, kann der Heizwert der dampfförmigen PLNG-Kraftstoffphase niedriger sein, als dies zum Anlassen der Brennkraftmaschine 24 erforderlich ist. Unter derartigen Bedingungen eines niedrigeren Drucks wird PLNG-Kraftstoff zum Anlassen der Brennkraftmaschine 24 vorzugsweise von dem flüssigen PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 geliefert. Die CPU 38 wird vorzugsweise dazu verwendet, die Betriebsabfolge der Ventile 18 und 19 zu handhaben, damit eine geeignete Menge der geeigneten Phase, also dampfförmig oder flüssig, des PLNG-Kraftstoffs geliefert wird, und indirekt die geeignete Zusammensetzung des PLNG-Kraftstoffs an die Brennkraftmaschine 24. Andererseits wird, wenn der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 zunimmt, der Zusammensetzungsunterschied zwischen dem dampfförmigen PLNG-Kraftstoff und dem flüssigen PLNG-Kraftstoff entsprechend verringert, und wird der Unterschied des Heizwertes zwischen diesen beiden Phasen entsprechend verringert. In diesem speziellen Fall wird vorzugsweise dampfförmiger PLNG-Kraftstoff der Brennkraftmaschine 24 direkt von dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 zugeführt, durch die Dampfleitung 9, den Verdampfer 20 (durch den der Dampf einfach hindurchgeht), den Kraftstoffregler 22, und die Kraftstoffleitung 24, damit der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 verringert wird.

#### Kraftstoffspeichertank

Wie nunmehr in Fig. 3 gezeigt ist, ist der Kraftstoffspeicherbehälter 10 vorzugsweise so ausgelegt, dass Verdampfungsverluste des flüssigen PLNG-Kraftstoffs minimiert werden. Bei einer Ausführungsform ist der Kraftstoffspeicherbehälter 10 vakuumisoliert, durch einen Vakuumisulationsraum 33 (siehe auch Abstandsstück 40), um Konvektionswärmelecks zu minimieren, und minimiert eine geeignete Beschichtung mit hohem Emissionsvermögen auf der Aussenoberfläche 34 des inneren Gefässes 35 Strahlungswärmelecks. Nur als Beispiel, ohne hierdurch die vorliegende Erfindung einzuschränken, umfasst die Beschichtung mit hohem Emissionsvermögen für die Aussenoberfläche 34 eine einzige Wicklung aus aluminisiertem Mylar. Dies begrenzt wesentlich die Wärmelecks in den Kraftstoffspeicherbehälter 10 auf Wärmeleitungslecks, infolge von Eindringstellen in das innere Gefäss 35. Bei der vorliegenden Ausführungsform wird die Gesamtanzahl an Durchdringungsstellen dadurch minimiert, dass zwei Doppel-Zweckleitungen verwendet werden, die Flüssigkeitsleitung 8 und die Dampfleitung 9. Die Flüssigkeitsleitung 8 wird dazu verwendet, flüssigen PLNG-Kraftstoff vom Speicherbehälter 10 sowohl einzufüllen als auch abzugeben; die Dampfleitung 9 wird dazu verwendet, dampfförmigen PLNG-Kraftstoff vom Speicherbehälter 10 sowohl einzufüllen als auch abzugeben. Wie Fachleuten auf dem Gebiet der Tieftemperaturtechnik bekannt ist, minimieren diese speziellen Entwurfsstrategien die Wärmelecks in den Kraftstoffspeicherbehälter 10, schatten diese jedoch nicht vollständig aus. Wenn daher die Brennkraftmaschine 24 (Fig. 1) nicht arbeitet, beispielsweise wenn das Fahrzeug, das von der Brennkraftmaschine 24 angetrieben wird, in Zeiträumen des Nichtgebrauchs geparkt wird, tritt ein ständiger Verdamp-

5 fungsverlust des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 auf. Der ständige Verdampfungsverlust führt zu einem Anstieg des Drucks des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10. Der Entwurfsdruck des Kraftstoffspeicherbehälters 10 wird bei einer Ausführungsform optimiert, um die PLNG-Kraftstoffhaltezeit zu maximieren, und das Gewicht des Kraftstoffspeicherbehälters 10 zu minimieren. Höhere Gewichte des Kraftstoffspeicherbehälters 10 führen dazu, dass der Kraftstoffwirkungsgrad (also Meilen pro Gallone) des Fahrzeugs verringert wird. Vorzugsweise ist der Kraftstoffspeicherbehälter 10 nicht so ausgelegt, dass er den gesamten Druck aufnimmt, der sich bei einer vollständigen Verdampfung und Aufwärmen auf Umgebungstemperatur des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 ergibt, da dies zu übermässig negativen Gewichtsauswirkungen auf den Kraftstoffwirkungsgrad des Fahrzeugs führen würde. Daher wird vorzugsweise ein Kraftstoffablassmechanismus vorgesehen.

#### Ablassen von Kraftstoff

15 Die Kraftstoffspeicher- und Lieferfervorrichtung gemäss diesem Beispiel ist vorzugsweise mit einem Kraftstoffablassmechanismus versehen, durch welchen dampfförmiger PLNG-Kraftstoff von dem Kraftstoffspeicherbehälter 10 abgelassen wird, jedoch nicht an die Atmosphäre freigegeben wird. Bei einer Ausführungsform sind zwei Schutzniveaus zu dem Zweck vorgesehen, dies zu erzielen. Erstens wird der Kraftstoffspeicherbehälter 10 vorzugsweise so ausgelegt, dass ein Druckaufbau bis zu etwa dem Doppelten des Betriebsdrucks zulässig ist. Abhängig von dem Ausgangspegel des flüssigen PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 lässt diese Auslegung für hohen Druck vorzugsweise zumindest etwa zehn Tage Verdampfungsverlust von Flüssigkeit zu, und den entsprechenden Druckaufbau, also zumindest zehn Tage, in welchen die Kraftstoffspeicher- und Lieferfervorrichtung nicht benutzt wird, ohne dass es erforderlich ist, dampfförmigen PLNG-Kraftstoff nach ausserhalb des Speicherbehälters 10 abzulassen. In dem relativ unwahrscheinlichen Fall eines verlängerten Zeitraums der Nichtbenutzung, der damit beginnt, dass der Kraftstoffspeicherbehälter 10 im Wesentlichen mit flüssigem PLNG-Kraftstoff gefüllt ist, kann jedoch der Druckaufbau den Auslegungsdruck für den Kraftstoffspeicherbehälter 10 überschreiten. Die Kraftstoffkartusche 36 stellt eine Vorrichtung zur Verfügung, um den Druck abzulassen, der den Auslegungsdruck überschreitet.

Wie nunmehr aus Fig. 3 hervorgeht, ist die Kraftstoffkartusche 36 an den Kraftstoffspeicherbehälter 10 über den Dampfport 11 und die Dampfleitung 9 angeschlossen. Das normalerweise geöffnete Magnetventil 36 stellt ein integrales Teil der Kraftstoffkartusche 36 dar. Die Kraftstoffkartusche 36 ist jedoch normalerweise gegenüber dem dampfförmigen PLNG-Kraftstoff im Speicherbehälter 10 und in der Dampfleitung 9 durch das Rückschlagventil 37 isoliert. Der Druckeinstellpunkt für die CPU 30 zum Öffnen des Rückschlagventils 37 hängt von dem Auslegungsdruck des Kraftstoffspeicherbehälters 10 ab. Das Rückschlagventil 37 ist so ausgelegt, dass es einen Fluss von dampfförmigem PLNG-Kraftstoff nur von dem Kraftstoffbehälter 10 in die Kraftstoffkartusche 36 zulässt, und einen Rückfluss von dampfförmigem PLNG-Kraftstoff durch die Dampfleitung 9 in die Brennkraftmaschine 24 oder den Kraftstoffspeicherbehälter 10 verhindert. Bei einer Ausführungsform enthält die Kraftstoffkartusche 36 ein Adsorptionsmittel, beispielsweise ein Kohleadsorptionsmittel 39, welches vorzugsweise dazu fähig ist, mehr als das 150-Fache seines Volumens im unbenutzten Zustand bei Umgebungsbedingungen in Bezug auf die Temperatur und den Druck zu adsorbieren. Die Menge an dampfförmigem PLNG-Kraftstoff, die auf dem Kohleadsorptionsmittel 38 adsorbiert wird, ändert sich entsprechend der Temperatur und dem Druck, welchen das Kohleadsorptionsmittel 39 ausgesetzt ist. Die Aufnahmekapazität für dampfförmigen PLNG-Kraftstoff des Kohleadsorptionsmittels 39 nimmt zu, wenn die Temperatur innerhalb der Kraftstoffkartusche abnimmt. Die Aufnahmekapazität für dampfförmigen PLNG-Kraftstoff des Kohleadsorptionsmittels 39 nimmt ebenfalls zu, wenn der Druck innerhalb der Kraftstoffkartusche 36 ansteigt. In dem äusserst unwahrscheinlichen und extremen Fall, in welchem der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 den Auslegungswert überschreitet, wird dampfförmiger PLNG-Kraftstoff in die Kraftstoffkartusche 36 abgelassen, um einen weiteren Druckaufbau zu verhindern. Bei einer Ausführungsform ist die Kraftstoffkartusche 36 dazu gedacht, in dem unwahrscheinlichen Fall eines Notfallablasses infolge eines verlängerten Zeitraums der Nichtbenutzung unmittelbar nach einem Nachfüllen eingesetzt zu werden. Als Teil der allgemeinen Brennkraftmaschinenwartung wird daher die Kraftstoffkartusche 36 vorzugsweise nach einem derartigen verlängerten Zeitraum der Nichtbenutzung ersetzt. Bei einer Ausführungsform sind die Kosten für den Austausch minimal, da die Kraftstoffkartusche 36 nach einfacher Regenerierung des Kohleadsorptionsmittels 39 durch zugeführte Wärme wiederverwendet wird. Das normalerweise geöffnete Magnetventil 38 wird vor und während dem Abnehmen der Kraftstoffkartusche 36 geschlossen, und bleibt geschlossen, bis es während des Regeneriervorgangs geöffnet wird.

Bei einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Kraftstoffkartusche 36 ein aktives Teil der PLNG-Kraftstoffspeichervorrichtung und stellt daher einfach eine Adsorptionsmittelkartusche für die zusätzliche Speicherung von PLNG-Kraftstoff dar. Bei dieser Ausführungsform weist die Kraftstoffkartusche 36 mit dem Kohleadsorptionsmittel 39 eine oder mehrere Regenerationsheizvorrichtungen auf (in den Zeichnungen nicht dargestellt). Das Rückschlagventil 37 wird durch ein normalerweise geschlossenes Magnetventil ersetzt (in den Zeichnungen nicht dargestellt) welches geöffnet wird, wenn der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 einen vorbestimmten Einstellpunkt erreicht, vorzugsweise deutlich unterhalb des Auslegungsdrucks, um einen Fluss von dampfförmigem PLNG-Kraft-

stoff in die Kraftstoffkartusche 36 zu ermöglichen. Sobald der Druck des PLNG-Kraftstoffs im Speicherbehälter 10 unter den Druck des dampfförmigen PLNG-Kraftstoffs in der Kraftstoffkartusche 36 absinkt, beginnen die eine oder mehreren Regenerationsheizvorrichtungen in der Kraftstoffkartusche 36 damit, das Kohleadsorptionsmittel 39 zu regenerieren, wodurch der dampfförmige PLNG-Kraftstoff zurück in den Speicherbehälter 10 befördert wird, um daraufhin der Brennkraftmaschine 24 zugeführt zu werden.

Fahrzeuge, die mit PLNG und der Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung mit Kraftstoff versorgt werden, stellen eine Fahrtfernung bis zum nächsten Wiederauftanken zur Verfügung, die mit jener momentaner Benzinbrennkraftmaschinen vergleichbar ist. Der niedrige Speicherdruck, verglichen mit jenem von CNG, und die hohe Speichertemperatur, verglichen mit jener von LNG, minimieren Befürchtungen in Bezug auf die Sicherheit. Im Gegensatz zu LNG erleichtert die Hochdruckspeicherung von PLNG die Zufuhr von Kraftstoff zu Mitteldruckkraftstoffinjektoren, wodurch das Erfordernis ausgeschaltet wird, das komplizierte und teure Liefersystem einzusetzen, welches eine Kryopumpe benötigt, wie dies bei LNG erforderlich ist. Anders als LPG hat PLNG Erdgas als Grundlage, mit ergiebiger Versorgung über die ganze Welt.

Zwar wurde die voranstehende Erfindung anhand einer oder mehrerer bevorzugter Ausführungsformen beschrieben, jedoch werden Fachleute auf diesem Gebiet verschiedene Änderungen, Modifikationen, Hinzufügungen und Anwendungen erkennen, die sich von jenen unterscheiden, die hier speziell erwähnt wurden, und die vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der Erfindung abzuweichen, die in den nachstehenden Patentansprüchen angegeben ist.

#### Glossar von Begriffen:

|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AC <sub>1</sub> -<br>Transformationstemperatur: | Die Temperatur, bei welcher sich während der Erwärmung Austenit zu bilden beginnt;                                                                                                                                                                                                           |
| AC <sub>3</sub> -<br>Transformationstemperatur: | die Temperatur, bei welcher während der Erwärmung die Transformation von Ferrit in Austenit beendet ist;                                                                                                                                                                                     |
| Ar <sub>1</sub> -<br>Transformationstemperatur: | die Temperatur, bei welcher während der Abkühlung Transformation von Austenit zu Ferrit oder zu Ferrit + Zementit beendet ist;                                                                                                                                                               |
| Ar <sub>3</sub> -<br>Transformationstemperatur: | die Temperatur, bei welcher sich während der Abkühlung Austenit in Ferrit umzubilden beginnt;                                                                                                                                                                                                |
| tiefe Temperaturen:                             | Temperaturen, die niedriger sind als etwa -40°C (-40°F);                                                                                                                                                                                                                                     |
| CTOD:                                           | Spaltspitzenöffnungsverschiebung;                                                                                                                                                                                                                                                            |
| CVN:                                            | Charpy-V-Kerbe;                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| DBTT<br>(Duktil-Spröd-Übergangstemperatur):     | unterteilt die beiden Bruchbereiche in Baustählen; bei Temperaturen unterhalb der DBTT tritt ein Ausfall durch einen Spaltbruch (Sprödigkeitsbruch) mit niedriger Energie auf, wogegen bei Temperaturen oberhalb der DBTT ein Ausfall durch einen duktilen Bruch mit hoher Energie auftritt; |
| im Wesentlichen:                                | praktisch 100 Vol.-%;                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Gm <sup>3</sup> :                               | Milliarden Kubikmeter;                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| GMAW:                                           | Gasmetalllichtbogenschweissen;                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Härtungsteilchen:                               | eine oder mehrere der Substanzen ε-Kupfer, Mo <sub>2</sub> C, oder der Karbide oder Karbonitride von Niob und Vanadium;                                                                                                                                                                      |
| HAZ:                                            | durch Wärme beeinflusste Zone;                                                                                                                                                                                                                                                               |
| interkritischer Temperaturbereich:              | von etwa der Ac <sub>1</sub> -Transformationstemperatur zu etwa Ac <sub>3</sub> -Transformationstemperatur beim Erwärmen, und von etwa der Ar <sub>3</sub> -Transformationstemperatur zu etwa der Ar <sub>1</sub> -Transformationstemperatur beim Abkühlen;                                  |
| K <sub>IC</sub> :                               | kritischer Spannungsintensitätsfaktor;                                                                                                                                                                                                                                                       |
| kJ:                                             | Kilojoule;                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| kPa:                                            | tausende Pascal;                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ksi:                                            | tausende Pfund pro Quadratzoll;                                                                                                                                                                                                                                                              |

|    |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | niedrig legierter Stahl:                   | ein Stahl, der Eisen und weniger als etwa 10 Gew.-% insgesamt Legierungszusatzstoffe enthält;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|    | MA:                                        | Martensit-Austenit;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 5  | maximale zulässige Fehlstellengrösse:      | kritische Fehlstellenlänge und Tiefe;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|    | Mo <sub>2</sub> C:                         | eine Form von Molybdänkarbid;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|    | MPa:                                       | Millionen Pascal;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 10 | M <sub>s</sub> -Transformationstemperatur: | die Temperatur, bei welcher die Transformation von Austenit in Martensit bei der Abkühlung in beginnt;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|    | PLNG:                                      | Flüssigerdgas unter Druck;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|    | überwiegend:                               | zumindest etwa 50 Vol.-%;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 15 | ppm:                                       | Teile pro Million;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|    | psia:                                      | Pfund pro Quadratzoll absolut;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|    | Abschrecken:                               | beschleunigte Abkühlung durch jede Vorrichtung, bei welcher ein Fluid eingesetzt wird, das wegen seiner Neigung zur Erhöhung der Abkühlrate des Stahls ausgewählt wird, im Gegensatz zur Luftkühlung;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 20 |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|    | Abschreck-(Abkühl)-Rate:                   | Abkühlrate im Zentrum, oder im Wesentlichen im Zentrum, der Dicke der Platte;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 25 | Abschreckstopptemperatur:                  | die höchste, oder im Wesentlichen höchste Temperatur, die an der Oberfläche der Platte erreicht wird, nachdem das Abschrecken beendet wurde, infolge von Wärme, die aus dem Bereich in der Mitte der Dicke der Platten übertragen wird;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 30 |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|    | QST:                                       | Abschreckstopptemperatur;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|    | Barren:                                    | ein Stahlstück mit beliebigen Abmessungen;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|    | TCF:                                       | Billionen Kubikfuss;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 35 | Zugfestigkeit:                             | bei der Zugfestigkeitsuntersuchung, das Verhältnis der maximalen Belastung zur ursprünglichen Querschnittsfläche;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|    |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|    | TIG-Schweissen:                            | Wolfram-Inertgas-Schweissen;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 40 | T <sub>nr</sub> -Temperatur:               | Temperatur, unterhalb derer Austenit nicht rekristallisiert;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|    | USPTO:                                     | Patent- und Markenamt der Vereinigten Staaten;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|    | Schweissung:                               | eine geschweisste Verbindung oder Naht, welche umfasst: (i) das Schweissmetall, (ii) die durch Wärme beeinflusste Zone (HAZ), und (iii) das Basismetall in der «nahen Umgebung» der HAZ. Der Anteil des Basismetalls, der als innerhalb der «nahen Umgebung» der HAZ liegend angesehen wird, und daher als Teil der Schweissung, variiert in Abhängigkeit von Fachleuten bekannten Faktoren, beispielsweise, ohne Einschränkung, der Breite, der Schweissung, der Grösse des Gegenstandes, der geschweisst wurde, der Anzahl an Schweissungen, die zur Herstellung des Gegenstandes erforderlich ist, und der Entfernung zwischen Schweissungen. |
| 45 |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 50 |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 55 |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

#### Patentansprüche

1. Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung, welche umfasst:
  - a) zumindest einen Kraftstoffspeicherbehälter (10) zum Speichern von Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck bei einem Druck zwischen 1035 kPa und 7590 kPa und einer Temperatur zwischen -123°C und -62°C, welcher ausreichende Festigkeit und Zähigkeit aufweist, um den Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck bei diesen Druck- und Temperaturbedingungen festzuhalten; und
  - b) Einrichtungen zum Liefern von verdampftem Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck auf Anforderung zur Verbrennung in einer Brennkraftmaschine (24).

2. Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Einrichtungen zum Liefern von verdampftem Kraftstoff umfassen:

a) ein Füll- und Belüftungsventil (13), um eine Übertragung des Kraftstoffes aus Flüssigerdgas unter Druck zwischen dem Kraftstoffspeicherbehälter (10) und einer Tankstelle zuzulassen;

5 b) eine Flüssigkeitsleitung (8), um einen Fluss von flüssigem Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck von dem Kraftstoffspeichertank (10) zu einem Verdampfer (20) zuzulassen;

c) eine Dampfleitung (9), um einen Fluss von verdampftem Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck von dem Kraftstoffspeichertank (10) zu dem Verdampfer (20) zuzulassen;

10 d) eine Kraftstoffleitung (4), um einen Fluss des verdampften Kraftstoffs aus Flüssigerdgas unter Druck von dem Verdampfer (20) zu der Brennkraftmaschine (24) zuzulassen; und

e) einen Kraftstoffregler (22) zum Regeln des Flusses des verdampften Kraftstoffs aus Flüssigerdgas unter Druck von dem Verdampfer (20) zu der Brennkraftmaschine (24), so dass die Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung dazu ausgebildet ist, den Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck zu speichern, bei einem Druck zwischen 1035 kPa und 7590 kPa und einer Temperatur zwischen  $-123^{\circ}\text{C}$  und  $-62^{\circ}\text{C}$ , und den verdampften Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck nach Bedarf zur Verbrennung in einer Brennkraftmaschine (24) zu liefern.

3. Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung nach Anspruch 2, welche weiterhin aufweist:

f) eine Kraftstoffkartusche (36), die zumindest eine Regenerationsheizvorrichtung aufweist, wobei die Kraftstoffkartusche (36) dazu ausgebildet ist, überschüssigen Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck von dem Kraftstoffspeicherbehälter (10) zu empfangen, wenn der Druck in dem Kraftstoffspeicherbehälter (10) einen ersten vorbestimmten Einstellpunkt überschreitet; den überschüssigen Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck zu speichern; und den überschüssigen Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck zurück in den Kraftstoffspeicherbehälter (10) zu treiben, wenn der Druck in dem Kraftstoffspeicherbehälter (10) unter einen zweiten vorbestimmten Einstellpunkt absinkt.

25 4. Verwendung der Kraftstoffspeicher- und Liefervorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche zum Liefern von verdampftem Kraftstoff aus Flüssigerdgas unter Druck auf Anforderung zur Verbrennung in einer Brennkraftmaschine (24).

30

35

40

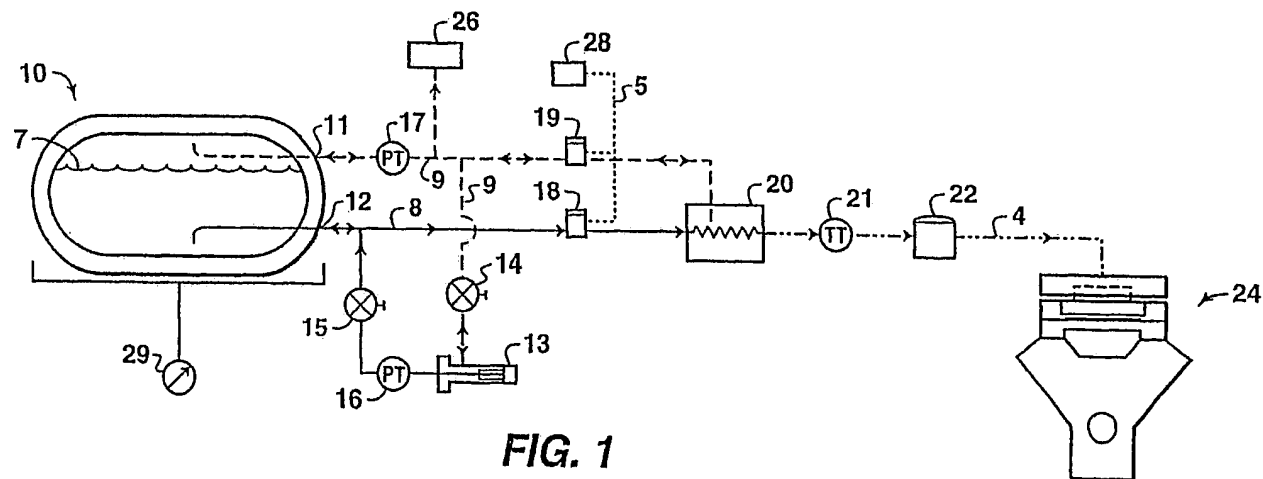
45

50

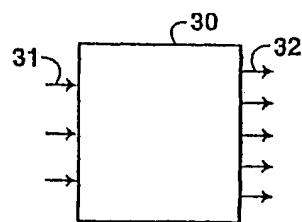
55

60

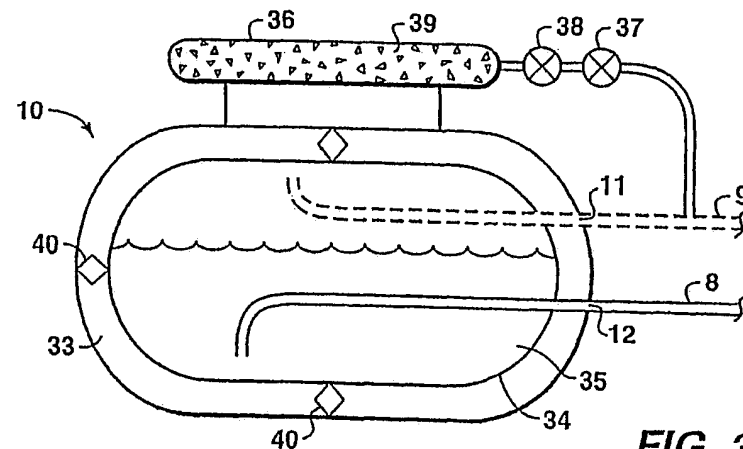
65



**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**

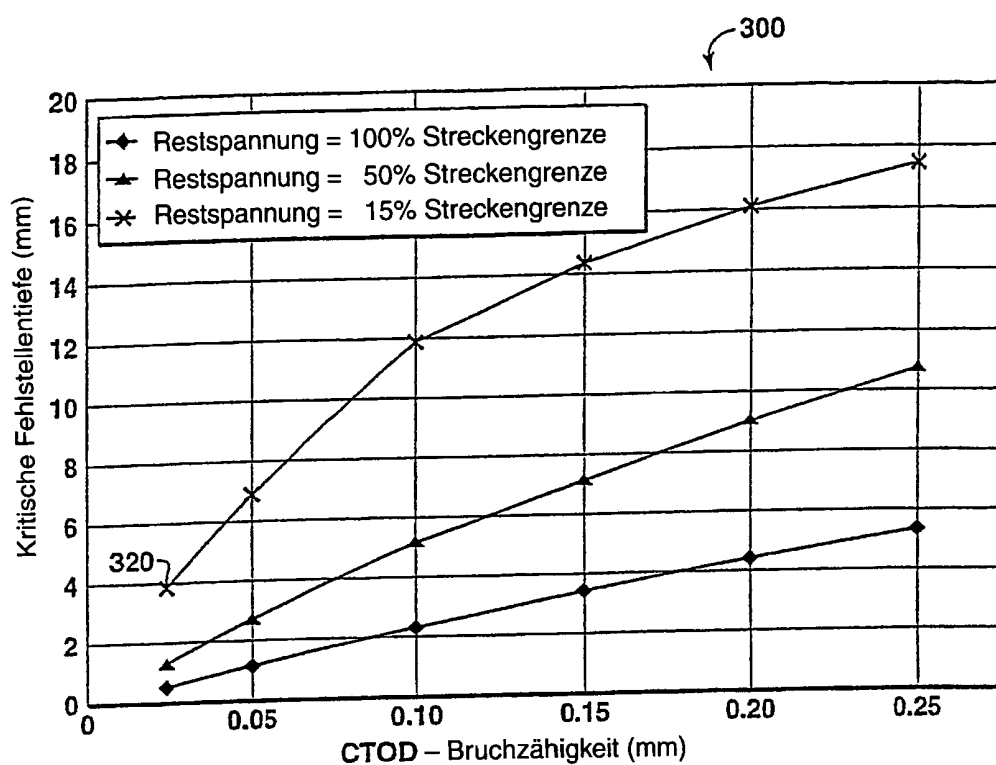


FIG. 4A

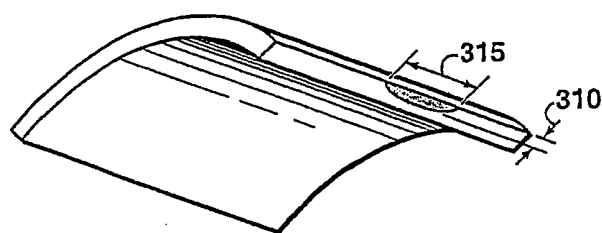


FIG. 4B