



(11) **EP 2 908 044 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
19.08.2015 Patentblatt 2015/34

(51) Int Cl.:
F17C 5/06 ^(2006.01) **F17C 7/00** ^(2006.01)
F17C 13/08 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15000124.6**

(22) Anmeldetag: **17.01.2015**

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

(71) Anmelder: **Feldmann, Michael**
35037 Marburg (DE)

(72) Erfinder: **Feldmann, Michael**
35037 Marburg (DE)

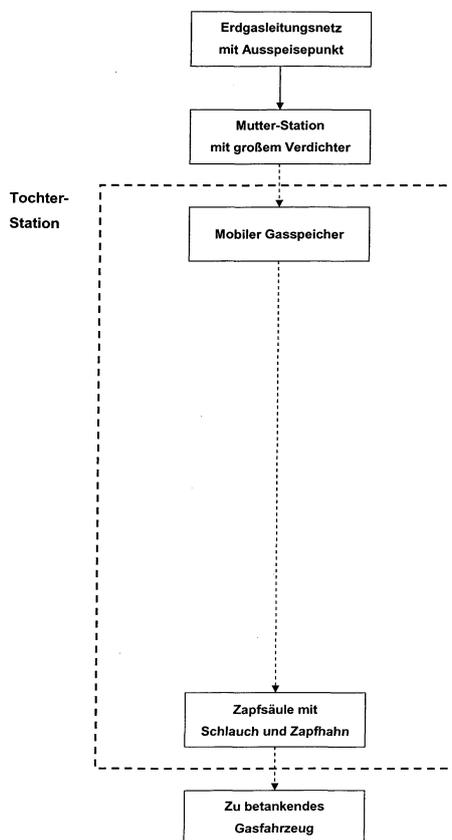
(30) Priorität: **17.01.2014 DE 102014000639**

(74) Vertreter: **Schüssler, Andrea**
Kanzlei Huber & Schüssler
Truderinger Strasse 246
81825 München (DE)

(54) **Verfahren und Anlagen für eine Gastankstelle zur größenoptimierten Abgabe gasförmiger Gaskraftstoffe an mobile Verbraucher**

(57) Die hier offenbarte Erfindung betrifft ein Verfahren und Anlagen zum optimierten Aufbau und Betrieb von Gastankstellen, die gasförmige Gaskraftstoffe an mobilen Verbraucher abgeben.

Figur 2



EP 2 908 044 A2

Beschreibung

[0001] Auf Flüssiggasbetrieb umgerüstete Benzinfahrzeuge gehören seit den 1990-er Jahren zum Stand der Technik. Seit Mitte der 1990-er Jahre werden in Deutschland in zunehmendem Maße auch Fahrzeuge genutzt, die mit Erdgas (Compressed Natural Gas = CNG) betrieben werden. Die Nutzung dieses Kraftstoffes ist mit deutlich weniger Schadstoffemissionen verbunden als die Nutzung von Benzin oder gar Diesel. Zum Beispiel emittieren CNG-Fahrzeuge zwischen 20% und 25% weniger CO₂ als vergleichbare Benzin- und Diesel-Fahrzeuge.

[0002] Mittlerweile beträgt der deutsche Bestand an straßenzugelassenen CNG-Fahrzeugen rd. 95.000 Automobile. Daneben gibt es mehrere tausend Gabelstapler mit CNG-Antrieb. Der straßenzugelassene Bestand von 95.000 CNG-Fahrzeugen besteht aus rd. 77.000 Pkw, rd. 16.000 leichten Nutzfahrzeugen, rd. 1.600 Bussen und rd. 400 Sonderfahrzeugen wie z.B. Müllsammel-Lkw. Weltweit gibt es mehrere Millionen CNG-Fahrzeuge.

[0003] Wenn man davon ausgeht, dass ein CNG-Bus ca. 50 mal so viel Gaskraftstoff verbraucht wie ein durchschnittlicher CNG-Pkw, leichte CNG-Nutzfahrzeuge ca. 8 mal so viel und ein CNG-Sonderfahrzeug ca. 30 mal so viel wie ein CNG-Pkw, dann ergibt sich für den gesamten deutschen Gaskraftstoffmarkt eine Nachfrage in Höhe von 290.000 Pkw-Äquivalenten. Bei einem durchschnittlichen Verbrauch von rd. 10.000 kWh_{H_i} pro CNG-Pkw und Jahr ergibt sich eine jährliche Absatzmenge an CNG-Kraftstoff im deutschen Straßenverkehr in Höhe von rd. 2.900.000.000 kWh_{H_i}. Davon entfallen auf CNG-Pkw rd. 780.000.000 kWh_{H_i}, auf leichte CNG-Nutzfahrzeuge rd. 1.200.000.000 kWh_{H_i}, auf CNG-Busse rd. 800.000.000 kWh_{H_i} und auf CNG-Sonderfahrzeuge rd. 120.000.000 kWh_{H_i}.

[0004] Gegenwärtig werden die deutschen CNG-Straßenfahrzeuge von rd. 900 öffentlichen CNG-Tankstellen mit Gaskraftstoff versorgt. Im Durchschnitt ergibt das eine Absatzmenge von rd. 3,222 Mio. kWh_{H_i} bzw. von rd. 323.159 Nm³ Gaskraftstoff pro CNG-Tankstelle und Jahr. Die Bandbreite ist jedoch sehr groß. Die 1.600 CNG-Busse werden von rd. 90 Kommunalbetrieben eingesetzt, die zur Betankung dieser Busse rd. 100 Gastankstellen nutzen. D.h., diese rd. 100 Gastankstellen decken alleine den Bedarf der CNG-Busse in Höhe von 800.000.000 kWh_{H_i}/a ab. Sie decken zudem den Bedarf der CNG-Sonderfahrzeuge in Höhe von 120.000.000 kWh_{H_i} ab und von dem verbleibenden Kraftstoffbedarf der CNG-Pkw und der leichten CNG-Nfz in Höhe von 1.980.000.000 kWh_{H_i} decken sie außerdem rd. 10% also 198.000.000 kWh_{H_i} ab. Insgesamt entfallen damit auf die 100 Gastankstellen der Kommunalbetriebe 1.118.000.000 kWh_{H_i}, was rd. 39 % der gesamten deutschen CNG-Absatzmenge darstellt. Pro CNG-Tankstelle der Kommunalbetriebe ergibt sich so eine jährliche Absatzmenge von 11.180.000 kWh_{H_i}, was dem Bedarf von 1.118 Pkw-Äquivalenten entspricht. Die restlichen 800

Gastankstellen setzen jährlich 1.782.000.000 kWh_{H_i} ab. Damit entfallen auf diese 800 Gastankstellen Absatzmengen von lediglich 2.227.500 kWh_{H_i} pro Gastankstelle und Jahr, was dem Bedarf von 223 Pkw-Äquivalenten entspricht. Im Vergleich dazu versorgt jede der 14.367 konventionellen Benzin- bzw. Dieseltankstellen im Durchschnitt rd. 2.122 Benzin-Pkw, 828 Diesel-Pkw, 408 Zweiräder, 42 schwere Lkw und 135 leichte Nutzfahrzeuge, was 4.451 Pkw-Äquivalenten entspricht. Jede LPG-Tankstelle versorgt dagegen rd. 70 Pkw.

[0005] Für Benzin- und Dieselmotorkraftstoff gibt es in Deutschland rd. 14.367 Tankstellen, für Flüssiggas (LPG) 6.556 Tankstellen und für Erdgas/BioMethan rd. 900 Tankstellen. Wie die parallele Entwicklung bei der Distribution von Flüssiggas als Kraftstoff gezeigt hat, sind in Deutschland für eine flächendeckende Versorgung mindestens rd. 5.000 Tankstellen erforderlich. Die gegenwärtig rd. 900 CNG-Tankstellen reichen also bei weitem nicht aus, um eine flächendeckende Versorgung mit gasförmigen Gaskraftstoffen sicherzustellen, zumal ein Großteil dieser CNG-Tankstellen mit ihren Standorten in Gewerbegebieten oder auf Betriebshöfen eine unattraktive Fahrlage aufweisen.

[0006] Der weitere Ausbau des CNG-Tankstellennetzes ist bislang aus 3 Gründen gescheitert: Erstens wächst der deutsche Bestand an CNG-Fahrzeugen nur äußerst langsam. Ein vorgezogener Ausbau des CNG-Tankstellennetzes würde deshalb zweitens zu einer Kunden-Kannibalisierung bei den 800 nicht kommunalen CNG-Fahrzeuge versorgenden CNG-Tankstellen führen (bei 4.100 statt 800 Gastankstellen würde deren Kundenschaft von 223 Pkw-Äquivalenten pro Gastankstelle und Jahr auf 44 Pkw-Äquivalente zurückgehen). Drittens erfordern Tankstellen für gasförmige Kraftstoffe aufgrund des zu treibenden deutlich höheren technischen Aufwands wesentlich höhere Investitionen, die das Tankstellengeschäft im Marktsegment der Gaskraftstoffe nochmals riskanter machen als das Tankstellengeschäft für Flüssiggas. Um in Deutschland auf die selbe Verzinsung des eingesetzten Kapitals zu kommen wie die 14.367 Tankstellen für Diesel und Benzin, müsste die einzelne CNG-Tankstelle folglich sogar noch deutlich mehr als 4.451 Pkw-Äquivalente versorgen.

[0007] Aus diesen Gründen gibt es bei der Distribution von gasförmigen Gaskraftstoffen ein typisches, inzwischen selbst von der deutschen Bundesregierung als solches bezeichnete "**Henne-Ei-Problem**": die (potenziellen) Betreiber von Gastankstellen errichten keine neuen Gastankstellen, weil die Zahl der CNG-Fahrzeuge im jeweiligen Einzugsbereich zu gering ist und/oder nicht schnell genug wächst und die (potenziellen) Käufer / Nutzer von CNG-Fahrzeugen kaufen keine CNG-Fahrzeuge, weil das Tankstellennetz nicht dicht genug ist. Zudem spart CNG ggü. Benzin oder Diesel nur 20 % - 25% an Treibhausgas-Emissionen ein, so dass auch das Argument der relativen Umweltfreundlichkeit nicht recht zieht.

[0008] Anders als bei der Nutzung von Flüssiggas, Benzin oder Dieselmotorkraftstoff bedingt der Einsatz von Erd-

gas als Kraftstoff eine Speicherung des Gaskraftstoffes an Bord des CNG-Fahrzeuges in einem hochdruckbeaufschlagten Gastank und nicht wie bei Benzin- und Diesel-Fahrzeugen in einem drucklosen Flüssigkeitstank. Die hohe Druckbeaufschlagung erfordert vollkommen andere Tankstellenkonzepte als es sie für Flüssigkraftstoffe gibt. Während Flüssiggas, Benzin und Dieselkraftstoff bei der Betankung wie andere flüssige Kraftstoffe in relativ kurzer Zeit unter identischen Druckverhältnissen von einem Speichertank in den (mobilen) Flüssiggastank des Fahrzeuges umgepumpt werden, muss man das Erdgas mit einem relativ hohen Ausgangsdruck bereitstellen, um zu kurzen Betankungszeiten zu kommen. Es ist technisch außerordentlich anspruchsvoll, einen Druckbehälter durch Betanken annähernd zu 100% zu füllen, d.h., den Druckbehälter auf einen vorgegebenen Soll-Fülldruck von z.B. 200 bar zu bringen, da der Druck im Druckbehälter multifaktoral von der Umgebungstemperatur, von der Temperatur des eingefüllten gasförmigen Mediums, von der Geschwindigkeit der Befüllung, von dem gasspezifischen Realgasfaktor (Kompressibilitätsfaktor) und von der Art und Weise der Befüllung abhängt.

[0009] Die Betankung von Kraftfahrzeugen mit Gasantrieben, die gewöhnlich gasförmiges Erdgas, gasförmiges BioMethan, ein gasförmiges Gemisch dieser beiden Kraftstoffe oder zukünftig auch gasförmigen Wasserstoff, gasförmiges Aethan, gasförmiges Propan und synthetisches, aus regenerativem Wasserstoff und atmosphärischem CO₂ erzeugtes gasförmiges Methan (SynMethan) als Kraftstoff nutzen, erfolgt deshalb mit spezieller Betankungstechnik und zwar unter hohen Drücken von bis zu 800 bar. Während die Gaskraftstoffe in der Regel in wenigen dafür geeigneten Anlagen an zentralen Orten erzeugt bzw. aufbereitet werden, werden die Gastankstellen wie bereits Tankstellen für Flüssigkraftstoffe in mehr oder weniger großer Zahl dezentral an den Orten der Nachfrage errichtet und betrieben.

Stand der Technik

[0010] Die Befüllung (mobiler) Druckgasbehälter ist anlagentechnisch also wesentlich aufwändiger als die einfache Umpumpen von Flüssigkeiten. Das zeigen beispielhaft die vorbekannten EP0653585A1 (Sulzer-Burckhardt AG), EP0995943A2 (m-tec Gastechologie GmbH), DE19730459A1 (Mannesmann AG), DD282351A7 (VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig-Grimma) und EP1559949 A1 (Gavenco AB). Während sich EP0653585A1, EP0995943A2 und DE19730459A1 auf die Lösung der beim Befüllungsvorgang entstehenden Temperaturprobleme beziehen, wollen EP1559949A1 und DD282351A7 das Problem der Betankungszeit lösen, EP1559 949A1 insbesondere für Fahrzeuge mit großen Gastanks (CNG-Busse und CNG-Lkw).

[0011] In Deutschland werden konventionelle Erdgas- bzw. CNG-Tankstellen aus dem öffentlichen Erdgasnetz mit Erdgas versorgt. Ein Teil des Erdgasnetzes wird unter

Hochdruck betrieben (bis zu 70 bar), ein Teil unter mittlerem Druck (z.B. 16 bar) und ein Teil unter Niederdruck (ab 0,02 bar). Der Gasdruck des Erdgasnetzes schwankt damit in Abhängigkeit von dem Ausspeisepunkt. Je höher der Gasdruck im vorgeschalteten (Erd-) Gasnetz ist, desto geringer der Energieaufwand für die Verdichtung des Gases und die resultierenden Betriebskosten.

[0012] In Gastankstellen wird das Gas nach der Entnahme aus dem Erdgasnetz i.d.R. in ein Anlagenmodul zur Gasaufbereitung geführt. Üblicherweise besteht diese Gasaufbereitungsanlage aus einem Gastrockner und einem Gasfilter. Der Gastrockner hat die Aufgabe, dem Gas so viel Feuchtigkeit zu entziehen, dass der Taupunkt bei 200 bar mindestens -20°C beträgt. Wenn dieser Taupunkt nicht erreicht wird, können sich im Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug Hydrate bilden, was im Winter zu Funktionsstörungen führt.

[0013] Nach der Gasaufbereitung wird das Gas in den Kompressor (Verdichter, Booster) geführt, der es auf den gewünschten Enddruck verdichtet. Da der Betriebsdruck der Erdgasnetze i.d.R. mit 0,2 bar bis 70 bar niedriger ist als der Soll-Fülldruck des zu befüllenden Gastanks eines CNG-Kraftfahrzeuges - dieser beträgt üblicherweise rd. 200 bar - muss das aus dem Erdgasnetz entnommene Erdgas mittels Kompressoren (Verdichtern, Boostern) mindestens auf diesen Soll-Fülldruck komprimiert werden. In der einfachsten Ausführungsform wird das abzufüllende, gasförmige Gas durch eine Gaszuleitung (z.B. eine unter Hoch-, Mittel- oder Niederdruck stehende Erdgasleitung) in einen Verdichter geführt, der das gasförmige Gas verdichtet. Als Verdichter können ein-, zwei-, drei-, vier- oder auch fünfstufige Aggregate zur Anwendung kommen. Je höher die Zahl der hintereinander geschalteten Verdichterstufen, desto geringer die erforderlichen Kräfte, desto geringer die thermische Belastung des Verdichters und desto geringer dessen Verschleiß, desto höher aber auch der technische Aufwand. Je höher der Druck im Gasnetz ist, desto weniger Verdichterstufen werden benötigt.

[0014] Bei der Verdichtung arbeiten die Verdichter gegen den in der nachgeschalteten Leitung bzw. gegen den in dem nachgeschalteten Gasspeicher aufgebauten Fülldruck (Leitungs- bzw. Speicherdruck). Mit dem Fülldruck steigt die pro Nm³ Gas vom Verdichter zu leistende Arbeit. Bei i.d.R. mehr oder weniger konstanter (elektrischer) Leistungsaufnahme geht die Verdichtungsleistung deshalb mit zunehmendem Gegendruck bzw. mit zunehmender Differenz zwischen Eingangsdruck und Speicherdruck zurück. Zu Beginn der Befüllung der nachgeschalteten Leitung bzw. des nachgeschalteten Speichers ist die Verdichtungsleistung ceteris paribus folglich höher als am Ende der Befüllung.

[0015] Wie hoch die Verdichtungsleistung im Endeffekt ausfällt, hängt von dem Druckniveau ab, auf dem gearbeitet wird. Die durchschnittliche Massedurchflussleistung des Verdichters ist höher, wenn der zu befüllende Gasspeicher komplett geleert wird, d.h. von z.B. 250 bar bis auf einen Restdruck von z.B. 5 bar, als wenn

die Entleerung auf einen deutlich höheren Restdruck von beispielsweise 200 bar erfolgt. Im ersten Fall muss der Verdichter im Durchschnitt gegen einen Druck von 127,5 bar arbeiten, im letzteren Fall gegen einen durchschnittlichen Druck von 225 bar. Um die Darstellung zu vereinfachen, wird die dargestellte Leistungsbandbreite des/der Verdichter im Folgenden zu einer durchschnittlichen Verdichtungsleistung bzw. zu einer effektiven Verdichtungsleistung zusammengefasst.

[0016] Da die Kompressortechnik Skaleneffekten unterliegt und der spezifische, auf einen Nm³ Gas bezogene Energieaufwand mit zunehmender Verdichtergröße abnimmt, weisen die üblicherweise elektrisch betriebenen großen Tankstellen-Kompressoren mit einer Kapazität von bis zu 3.000 Nm³/h vergleichsweise günstige Verbräuche an elektrischer Energie auf. Der Vorteil ist in der Regel enorm: der in kWh_{el} gemessene Stromeinsatz bei einer gegebenen Verdichtungsleistung fällt bei großen Verdichtern um bis zu 40% geringer aus als bei kleinen und sehr kleinen Kompressoren. Außerdem sinkt der anteilige Aufwand für Instandhaltung und Reparaturen. Aus diesen Gründen werden in Deutschland kaum noch Verdichter unter einer Kapazität von 100 Nm³/h verbaut.

[0017] Aus dem Kompressor gelangt das verdichtete Gas in einen Hochdruckverteiler. Dieser steuert und regelt die Befüllung der nachgeschalteten Gasspeicher sowie die Entnahme des Gases aus diesen Gasspeichern zwecks Befüllung der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtanks. Üblicherweise sind in dem Hochdruckverteiler auch diverse Sicherheitssysteme integriert.

[0018] Das vom Kompressor verdichtete und über den Hochdruckverteiler in den bzw. die stationären Gasspeicher geleitete Gas wird dort bis zur Betankung eines Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges zwischengelagert. Üblicherweise besteht der Gasspeicher aus mehreren Gasbehältern (sogenannten Flaschen), die in Batterien zu sogenannten Speicherbänken zusammengeschaltet werden. Der Gasspeicher dient zur Bevorratung der vom Kompressor geleisteten Verdichterarbeit, d.h. sowohl der Druckbeaufschlagung als auch der Gasspeicherung. Die Betankung des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges kann so in einer sehr kurzen Zeitspanne erfolgen.

[0019] Der Gaskraftstoff wird i.d.R. über eine Zapfsäule an das Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug abgegeben. Die Zapfsäule weist neben dem Befüllungsschlauch, der Zapfpistole und dem Zapfhahn ggf. auch Anzeigen auf, die anzeigen, welche Gasmengen von der Gastankstelle abgegeben wurden und welcher Preis für diese Mengen erhoben wird.

[0020] Mit Ausnahme der Zapfsäule wurde die gesamte Anlagentechnik der Gastankstelle bislang meist in einer kompakten Einhausung aus Beton oder Blech eingebaut und betrieben. Sie dient vor allem dem Schutz, und zwar vor der Witterung, vor der Emission von Kompressorlärm und vor Vandalismus.

[0021] Die beschriebene Betankungstechnik wird meist von einer zentralen Tankstellensteuerung gesteu-

ert, geregelt und überwacht.

[0022] Das verdichtete Gas wird in dem mindestens einen Gasspeicher zwischengelagert. Im Bedarfsfall kann es an einen mobilen Gastank (z.B. ein Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug mit seinem Druckgastank) abgegeben werden (vgl. Figur 1 der DE19650999C1 (Mannesmann AG)). Im Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug wird das auf bis zu 200 bar verdichtete gasförmige (Erd-)Gas aus dem Druckgastank des Fahrzeugs üblicherweise über ein Druckminderungsventil und ein Gemischregelungsmodul zu den Zylindern des Verbrennungsmotors geführt. Dort wird es wie bei der Benzin- bzw. Dieselseitechnik durch Verbrennung in mechanische Antriebsenergie und in Wärme umgewandelt.

[0023] Der Aufwand für die Verdichtung des Gaskraftstoffes ist nicht nur infolge des zu erreichenden hohen absoluten Drucks erheblich, sondern auch wegen des damit verbundenen Energieeinsatzes. Deshalb bedarf es üblicherweise zwischen der Verdichterkapazität, dem Volumen des mindestens einen Gasspeichers sowie der Betriebsweise der Betankungstechnik einer konzeptionellen Abstimmung. Bei der im nachgeschalteten Gasspeicher stattfindenden Entspannung des verdichteten Gaskraftstoffes kann ein Großteil der vom Verdichter geleisteten und im Gasspeicher gelagerten Arbeit verloren gehen. Um diesen für den wirtschaftlichen Betrieb einer Gastankstelle relevanten Mangel zumindest teilweise auszugleichen, wurde in der Vergangenheit eine mehrstufige Schaltung für drei parallel geschaltete Gasspeicher entwickelt (vgl. Bartosch, Braun, Drewitz: "Erdgas - ein neuer Kraftstoff für Kraftfahrzeuge. Die Markteinführung durch die Stadt Augsburg", Mannesmann Demag AG 1996, insbesondere Figur 2 der DE19 650999C1).

[0024] Am Anfang des Befüllungsvorgangs haben alle drei Gasspeicher den selben Befüllungsdruck, der zwar erheblich über dem Soll-Füllungsdruck des (mobilen) Fahrzeuggastanks liegt, aber deutlich geringer ausfällt als in der vorstehend beschriebenen einfachsten Ausführung einer Gastankstelle, nämlich beispielsweise mit 250 bar statt mit 300 bar. Der Ablauf bei der mehrstufigen Gasspeicherung ist dann wie folgt: Zunächst wird der erste Gasspeicher mit dem mobilen Gastank verbunden. Es strömt solange Gas in den mobilen Gastank über, bis der Druck in beiden Behältnissen gleich hoch ist. Je nach dem, wie groß die geometrischen Volumina des ersten Gasspeichers und des mobilen Gastanks (Fahrzeugtanks) sind, wie viel Restgas mit welchem Restdruck noch im mobilen Gastank enthalten ist und wie hoch der Speicherdruck im ersten Gasspeicher ist, stellt sich ein bestimmter Ausgleichsdruck ein. Dieser Ausgleichsdruck beläuft sich bei einem Ausgangsdruck von 250 bar typischerweise auf 120 bar. Nach dieser ersten Teilbefüllung wird die Leitung zwischen dem ersten Gasspeicher und dem mobilen Gastank geschlossen und die Leitung zum zweiten Gasspeicher mit seinem Druck von 250 bar geöffnet. Wiederum strömt solange Gaskraftstoff über, bis sich auf neuem, höherem Niveau ein Druckaus-

gleich eingestellt hat. Dieses beträgt typischerweise 185 bar. Die Leitung vom zweiten Gasspeicher wird geschlossen, danach wird die Leitung vom dritten Gasspeicher geöffnet, der anfänglich ebenfalls unter einem Druck von 250 bar steht. Der dritte Druckausgleich findet bei ca. 200 bar statt, dem angestrebten Soll-Fülldruck des mobilen Gastanks (Fahrzeugtanks).

[0025] Da die Verdichtung im Gasspeicher aber auf 125% des Fülldrucks des mobilen Gastanks erfolgte, gehen bei der Entspannung im mobilen Fahrzeuggastank immer noch rd. 20% (25% / 125%) der geleisteten Verdichtungsarbeit verloren. DE19650999C1 (Mannesmann AG) löst dieses Problem über die Kombination zweier Verdichter mit zwei Gasspeichern (vgl. nachstehend erläuterten Gastankstellen-Typ 6c).

[0026] Das Erdgasnetz, die Gastrocknung, der Gasfilter, der Hochdruckverteiler, die Einhausung, die Tankstellensteuerung, die Fahrzeugtechnik und die Aufgaben, die diese Module jeweils erfüllen, stellen im Rahmen der hier behandelten Thematik keine wesentlichen Komponenten dar, sie werden deshalb in der folgenden Erörterung nicht mehr explizit berücksichtigt.

[0027] Obwohl sich in Deutschland der im Folgenden beschriebene Gastankstellentyp 1 mit einem Marktanteil von über 95% als Standard etabliert hat, können die Gastankstellen grundsätzlich sehr unterschiedliche Bauarten, Größen und Betriebsweisen und damit auch Eigenschaften aufweisen. Für die Lösung des vorstehend beschriebenen und bisher ungelösten Henne-Ei-Problems sind die unterschiedlichen Eigenschaften der diversen Gastankstellentypen von zentraler Bedeutung. Insbesondere unter der Rahmenbedingung eines relativ geringen und nur langsam wachsenden Gasfahrzeug-Bestandes sind die Eigenschaftsunterschiede zumindest in Deutschland von hoher Relevanz. Die diversen Gastankstellentypen werden deshalb im Folgenden ausführlich beschrieben.

[0028] Gastankstellen entsprechen im Allgemeinen einem der nachstehend aufgeführten 7 Tankstellentypen.

[0029] Die konventionelle, öffentliche Gastankstelle, die über ein Gasleitungsnetz mit Erdgas oder Wasserstoff oder BioMethan oder SynMethan oder mit einem entsprechenden Mischgas versorgt wird, stellt den Gastankstellentyp 1 dar. Dieser Typ 1 ist baulich mit dem Baugrund verbunden und deshalb voll stationär. Er kann nicht einfach abgebaut und woanders wieder errichtet werden. Über 95% der in Deutschland betriebenen Gastankstellen entsprechen diesem Typ 1, der so aufgebaut ist, wie vorstehend beschrieben.

[0030] Bei diesem Gastankstellentyp 1 ist es erforderlich, dass der Verdichter das abzufüllende Gas auf einen wesentlich über dem Fülldruck des zu befüllenden Gastanks befindlichen Druck verdichtet, denn das Gas strömt nur dann aus dem Gasspeicher in den mobilen Gastank über, wenn ein entsprechendes Druckgefälle vorliegt. Da der Druck im Gasspeicher während des Befüllungsvorgangs stetig zurückgeht, muss der Gasspeicherdruck, insbesondere am Anfang der Befüllung, erheblich über

dem Fülldruck des mobilen Gastanks liegen. Üblicherweise ist der Verdichter aus Gründen des technischen und ökonomischen Aufwands nämlich so ausgelegt, dass er für die Auffüllung des Gasspeichers erheblich mehr Zeit benötigt als die Befüllung des mobilen Gastanks dauert. D.h., in Gastankstellen stellen i.d.R. allein die Gasspeicher die abzufüllende Gasmenge bereit.

[0031] In den konventionellen Gastankstellen des Typs 1 sind den Verdichtern in der Regel also druckbeaufschlagte Gasspeicher nachgeschaltet, die ggf. mehrstufig betrieben werden, so dass die Gaskraftfahrzeuge wie die flüssige Kraftstoffe nutzenden Benzin- und Dieselfahrzeuge innerhalb von Minuten betankt werden können.

[0032] Die Größe der Gastankstellen wird dabei weniger durch die Zahl der Zapfsäulen bestimmt als vielmehr durch die Leistung der Verdichter und durch das Fassungsvermögen der aus einer unterschiedlichen Anzahl Einzelflaschen bestehenden Speicherbänke. Die in $\text{Nm}^3_{\text{Gas}}/\text{h}$ gemessenen Verdichterkapazitäten bestimmen, welche tägliche Anzahl an Betankungsvorgängen vorgenommen bzw. welche Anzahl an Kunden versorgt werden kann. Da die Nachfrage schwankt und es Tageszeiten gibt, an denen bei gefüllten Speicherbänken keine oder nur wenige Fahrzeuge die Gastankstelle anfahren, läuft der Verdichter nicht den ganzen Tag hindurch. Üblicherweise geht die Fachwelt davon aus, dass die Verdichter im Durchschnitt pro Tag nur 12 Stunden laufen und dass diese 50%-ige Teilleistung bestimmt, welche Kundenzahl die entsprechende Gastankstelle dauerhaft mit Gaskraftstoff versorgen kann. Die restlichen 12 Stunden werden üblicherweise benötigt, um ggf. auftretende Bedarfsspitzen abzudecken.

[0033] Ein deutscher CNG-Pkw verbraucht im Durchschnitt jährlich rd. 10.000 kWh_{CNG} bzw. rd. 1.000 Nm³ an (Gas-) Kraftstoff, was bei der Nutzung von CNG-H einer Gasmasse von rd. 800 kg entspricht und bei der Nutzung von CNG-L einer Gasmasse von rd. 780 kg. Bei einer durchschnittlichen Betankungsmenge von aktuell 14,4 kg fahren die CNG-Pkw folglich pro Jahr 55-mal eine Gastankstelle an, wo sie jeweils 182 kWh_{H₂} tanken. Mit zunehmender Größe des Fahrzeugtanks sinkt diese Frequenz bei gleichzeitig steigender durchschnittlicher Betankungsmenge.

[0034] Eine Gastankstelle mit einer (durchschnittlichen) Verdichtungsleistung von 103 m³/h kann pro Tag eine Gaskraftstoffmenge von 1.236 m₃ bzw. 12.360 kWh_{H₂} verdichten und pro Jahr eine Gaskraftstoffmenge von 4.450.000 kWh_{H₂}. Diese Menge reicht, um 445 Pkw-Äquivalente dauerhaft mit Gaskraftstoff zu versorgen.

[0035] Die dem Gas-Verdichter nachgeschaltete Gas-Speicherkapazität bestimmt, wie viele Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge in rascher Abfolge unmittelbar hintereinander bzw. in 1 Spitzenlast-Stunde betankt werden können. Üblicherweise beträgt das (geometrische) Speichervolumen bei den deutschen Gastankstellen rd. 2.240 Liter bzw. 2,24 m³. Bei einem Fülldruck von 250

bar können unter Berücksichtigung des Realgasfaktors (Kompressibilitätsfaktors Z) für Methan (Erdgas besteht zu 80% bis 99% aus Methan) $2,24 \text{ m}^3 \times 250 \text{ bar} \times 1/0,90 = \text{rd. } 622 \text{ m}^3 \text{ Gas}$ und damit rd. $6.220 \text{ kWh}_{\text{Hi}}$ gespeichert werden. Der Fülldruck der vollgefüllten Tanks der CNG-Kraftfahrzeuge beträgt in Deutschland üblicherweise 200 bar, d.h. von dem auf 250 bar lautenden Fülldruck der Speicherbänke wird lediglich ein Teil, nämlich eine Druckdifferenz von 50 bar genutzt. Ohne Berücksichtigung des Kompressibilitätsfaktors Z für Methan führt diese Druckdifferenz bei dem gegebenen geometrischen Volumen von 2.240 Litern zu einer Gasmengendifferenz von rd. $112 \text{ m}^3_{\text{Gas}}$ ($1.117 \text{ kWh}_{\text{Hi}}$) und mit Berücksichtigung dieses Faktors zu einer Gasmengendifferenz von rd. $124 \text{ m}^3_{\text{Gas}}$ ($1.240 \text{ kWh}_{\text{Hi}}$). D.h., mit einer mit 250 bar befüllten Speicherbank mit einer geometrischen Speicherkapazität von 2.240 Litern können 6,8 Pkw-Äquivalente unmittelbar hintereinander mit jeweils $182 \text{ kWh}_{\text{Hi}}$ aufgetankt werden.

[0036] Da der Kompressor i.d.R. bereits wieder anläuft, wenn der Speicherdruck in den Speicherbänken unter den Fülldruck gesunken ist, kann der durchschnittliche Verdichter mit seiner Kapazität von $103 \text{ m}^3_{\text{Gas}}/\text{h}$ (s.o.) in der Zeit von 1 Stunde rd. 103 m^3 auf einen Druck von 250 bar nachladen. Bei Berücksichtigung des Kompressibilitätsfaktors Z für Methan erhöht sich diese Menge auf 114 m^3 , so dass bei dieser Verdichterleistung und einer gefüllten Speicherbank mit einem geometrischen Volumen von 2.240 Litern in einer (Spitzenlast-)Stunde insgesamt $124 \text{ m}^3 + 114 \text{ m}^3 = 238 \text{ m}^3$ für die Betankung von Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugen zur Verfügung stehen, was $2.380 \text{ kWh}_{\text{Hi}}$ entspricht und damit der Betankungsmenge wie sie bei der Betankung von rd. 13 Pkw-Äquivalenten anfällt.

[0037] Bei einem Fülldruck von 300 bar können mit einem geometrischen Speicherbank-Volumen von 2.240 Litern unter Berücksichtigung des methanspezifischen Kompressibilitätsfaktors rd. 723 Nm^3 Gas gespeichert werden. Bei einem Soll-Fülldruck von 200 bar für die Druckgastanks der CNG-Kraftfahrzeuge werden 100 bar der 300 bar genutzt, was unter Berücksichtigung des methanspezifischen Kompressibilitätsfaktors und dem wieder anlaufenden Verdichter eine Gasmenge verfügbar macht, die ausreicht, um unmittelbar hintereinander rd. 13 vollständige Pkw-Betankungen durchzuführen.

[0038] Der Marktführer im deutschen Gastankstellenbau, die Schwelm Anlagentechnik GmbH, die von den aktuell rd. 900 öffentlich zugänglichen deutschen Gastankstellen über 420 errichtet und damit einen Marktanteil von fast 50% erreicht hat, hat die Verdichter- und Speicherkapazitäten dieser über 420 Gastankstellen auf ihrer Website im Internet veröffentlicht (vgl. www.schwelm.at.de/fileadmin/user_upload/Bilder/17_Referenzen_unsere_Kunden/Anlage_09_Referenzliste_CNG_0611.pdf). Im Durchschnitt beläuft sich die Verdichtungskapazität ohne Berücksichtigung der Bustankstellen aktuell auf $103 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bei einer gegebenen Bandbreite von $15 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bis $288 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

[0039] Die kleinsten der von Schwelm errichteten Gastankstellen sind 3 Tankstellen mit einer Verdichtungsleistung von $15 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 2 Tankstellen mit einer Verdichtungsleistung von $20 \text{ Nm}^3/\text{h}$ und je 1 Tankstelle mit einer Verdichtungsleistung von $25 \text{ Nm}^3/\text{h}$, $26,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$, $27 \text{ Nm}^3/\text{h}$, $30 \text{ Nm}^3/\text{h}$ und $33 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Diese 10 kleinsten Gastankstellen wurden fast alle in den Jahren 2001 und früher errichtet. Die Verdichtungsleistung der danach installierten Gastankstellen nahm kontinuierlich zu, was zeigt, dass einerseits die Erwartungen hinsichtlich der lokalen Marktgröße (Anzahl der im Einzugsbereich der Gastankstelle zu versorgenden CNG-Fahrzeuge) zunahm als auch, dass die Volumeneffekte (economies of scale) für den Betrieb der Gastankstellen genutzt werden sollten. In 2002 belief sich die neu installierte Verdichtungsleistung des Marktführers (und höchstwahrscheinlich auch der anderen Hersteller von Gastankstellen) im Durchschnitt bereits auf $55 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Dieser Durchschnittswert für Neuinstallationen stieg weiter über $77 \text{ Nm}^3/\text{h}$ in 2003, $107 \text{ Nm}^3/\text{h}$ in 2004, $113 \text{ Nm}^3/\text{h}$ in 2005, $121 \text{ Nm}^3/\text{h}$ in 2006 und $119 \text{ Nm}^3/\text{h}$ in 2007 auf $126 \text{ Nm}^3/\text{h}$ in 2008, $129 \text{ Nm}^3/\text{h}$ in 2009 und $134 \text{ Nm}^3/\text{h}$ in 2010. Nur eine einzige der nach 2001 vom Marktführer Schwelm errichteten Gastankstellen hatte mit $25 \text{ Nm}^3/\text{h}$ eine geringere Verdichtungsleistung als $35 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Es kann davon ausgegangen werden, dass es ähnliche Zahlen für den hier nicht betrachteten anderen, 50%-igen Teil des deutschen Gastankstellenmarktes gibt.

[0040] Mit einer Verdichtungsleistung von $15 \text{ Nm}^3/\text{h}$ verdichtet die kleinste Schwelm-Gastankstelle im täglichen 12-Stundenbetrieb bei einer Verfügbarkeit von 360 Tagen im Jahr (dies entspricht einer Verfügbarkeit von 98,6%) jährlich rd. 64.800 Nm^3 Gas auf den Fülldruck von mindestens 200 bar. Bei einem (unteren) Methan-Heizwert von $9,971 \text{ kWh}_{\text{Hi}}/\text{Nm}^3$ entspricht dies einer Energiemenge von rd. $646.000 \text{ kWh}_{\text{Hi}}/\text{a}$. Bei einem durchschnittlichen Jahresverbrauch von rd. $10.000 \text{ kWh}_{\text{Hi}}/\text{Pkw}$ kann die kleinste Schwelm-Gastankstelle im Normalbetrieb also rd. 65 Pkw-Äquivalente versorgen. Derartig kleine Gastankstellen werden aber seit 2002 nicht mehr errichtet. Tatsächlich können die im Jahr 2010 ff. errichteten Gastankstellen mit ihrer Verdichterleistung von $134 \text{ Nm}^3/\text{h}$ rd. 577 Pkw-Äquivalente mit CNG versorgen. Die Nachfrage beläuft sich für die 800 Gastankstellen, die keine CNG-Busse versorgen, im Durchschnitt aber auf nur rd. 223 Pkw-Äquivalente (s.o.), d.h. die Verdichter der durchschnittlichen deutschen Pkw-Gastankstelle sind bei branchenüblichem 12-Stunden-Betrieb nur zu rd. 39% ausgelastet.

[0041] Der Tankstellenhersteller Bauer-Kompressoren hat in den Jahren 1997 bis 2000 mehr als 100 Kleinst-Gastankstellen des Typs Mini Fuel Station (MFS) errichtet. Die drei verwendeten Kompressortypen haben eine Lieferkapazität von $16,9$ bis $12,6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bzw. von $43,7$ bis $34,7 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bzw. von $51,5$ bis $30,0 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Bei einem Fülldruck von 250 bar und einem Speicherbank-Leerdruck von 200 bar fördern sie im effektiven Durchschnitt rd. $13,0 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bzw. rd. $35,6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bzw. rd. $32,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Bei der branchenüblich kalkulierten durchschnittlichen Laufzeit von 12 h pro Tag und einer Verfügbarkeit von 360 Tagen pro Jahr können die Bauer-Kompressoren eine Gaskraftstoffnachfrage von 560.000 kWh_{Hi} bzw. von 1.533.000 kWh_{Hi} bzw. von 1.387.000 kWh_{Hi} decken, was dem Bedarf von 56 bzw. 153 bzw. 139 Pkw-Äquivalenten entspricht. D.h., die kleinste Bauer-Tankstelle ist auf die Versorgung von mindestens rd. 56 Pkw-Äquivalenten ausgerichtet. Bei diesem Einzugsbereich / Kundenbestand und bei rd. 55 Betankungen pro Pkw-Äquivalent und Jahr ergibt sich für diese Gastankstelle eine Tankfrequenz von rd. 8,6 Betankungen pro Tag.

[0042] Die kleinste Tankstelle des Gastankstellenherstellers Greenfield ist mit einer Verdichtungsleistung von 80 - 150 Nm³/h für 53 bis 100 Pkw-Betankungen pro Tag ausgelegt, d.h. dieser immer noch relativ große Tankstellentyp versorgt im 12-Stundenbetrieb rd. 345 bis 650 Pkw-Äquivalente.

[0043] Insgesamt gab und gibt es damit in Deutschland trotz des relativ geringen Bestandes an CNG-Fahrzeugen einen eindeutigen Trend zu größeren Verdichtungsleistungen. Öffentliche Gastankstellen, die im normalen 12-Stunden-Betrieb weniger als 55 Pkw-Äquivalente versorgen, sind in Deutschland unbekannt. Seinen Grund hat diese allgemeine Entwicklung wie vorstehend dargestellt in dem mit zunehmender Verdichtergröße sinkenden Stromverbrauch und der branchenweiten Fehlmeinung, dass günstige relative Kostenkurven nur mit großer Betankungstechnik erreicht werden können (s.u.). Der Trend geht in Deutschland deshalb zu großen und sehr großen und nicht zu kleinen Gastankstellen.

[0044] Die durchschnittliche Kapazität der in den neuen Gastankstellen neu installierten Speicherbänke nahm von 1.640 Litern in 2002 auf 2.470 Liter in 2008, 2.250 Liter in 2009 und 2.430 Liter in 2010 zu. Die Betreiber der Gastankstellen haben sich damit aktuell auf einen Spitzenbedarf von ca. 7 - 14 Betankungen unmittelbar hintereinander bzw. auf einen Spitzenbedarf von ca. 9 - 18 Betankungen in 1 Stunde eingestellt. Im Durchschnitt kommt es jedoch für die einzelne der 800 Gastankstellen, die CNG-Pkw und leichte CNG-Nutzfahrzeuge versorgen, in der Zeit von 6 Uhr bis 24 Uhr nur zu rd. 2 Betankungen. D.h., in Deutschland wird eine viel zu große Betankungstechnik vorgehalten.

[0045] Bei konventionellen Gastankstellen hat der relativ hohe technische Aufwand für Verdichter und Speicher einen relativ hohen Kapitalaufwand (rd. 300.000 Euro; dagegen LPG: 30.000 Euro) und damit auch eine relativ hohe Abschreibung zur Folge (rd. 30.000 Euro pro Gastankstelle und Jahr; dagegen LPG: 3.000 Euro). Daneben ist beim Neubau einer Gastankstelle i.d.R. ein hoher baulicher Aufwand zu treiben. Wenn der üblicherweise elektrisch angetriebene Kompressor eine hohe Stromaufnahme aufweist, die über die übliche Kapazität des vorhandenen Stromnetzes hinausgeht, kann sogar die Errichtung einer ansonsten nicht erforderlichen Trafostation erforderlich sein. Dieser technische Aufwand resultiert insgesamt in Errichtungskosten von bis zu

900.000 Euro pro Typ 1-Gastankstelle. Allein die Abschreibung beträgt dann bis zu 90.000 Euro pro Jahr.

[0046] Ohne Mehrwertsteuer und Energiesteuer erzielen die Betreiber von CNG-Tankstellen einen Nettoverkaufserlös von rd. 6,0 Cent/kWh. Die 340 Energieversorger, die die 900 CNG-Tankstellen betreiben, kalkulieren dabei folgendermaßen: Um bei einer durchschnittlichen Abschreibung von 30.000 Euro pro Jahr auf einen Abschreibungssatz von 1,00 Cent/kWh zu kommen, muss die Gastankstelle jährlich mindestens 3.000.000 kWh_{Gas} absetzen, was dem Bedarf von mindestens 300 Pkw-Äquivalenten entspricht. Tatsächlich versorgen die 800 Gastankstellen ohne Bus-Kundschaft jedoch nur 223 Pkw-Äquivalente. D.h., im Durchschnitt beläuft sich der Abschreibungssatz sogar auf 1,35 Cent/kWh, was 22,4% des Verkaufserlöses entspricht. Dagegen beträgt der Infrastrukturkostenanteil bei Benzin- bzw. Dieseltankstellen nur 0,4% und bei LPG-Tankstellen nur 7,9%.

[0047] Es bedarf also einer bestimmten Mindestzahl an Kunden bzw. an Betankungsvorgängen bzw. einer bestimmten Absatzmindestmenge, damit der Betrieb einer Gastankstelle wirtschaftlich wird. Entsprechend stellt die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) anlässlich des vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung veranstalteten Fachdialogs zur Erarbeitung einer Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie für Deutschland im Workshop zur Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für die Politik am 13. November 2012 in Berlin folgendes fest: "Deutschland bleibt damit im in der volkswirtschaftlichen Wissenschaftslandschaft erkannten Koordinierungsfehler ("Henne-Ei-Dilemma") der beiden komplementären Märkte für Kraftstoffe und Fahrzeuge gefangen. Denn wie mit fast allen alternativen Kraftstoffen lässt der bisher erreichte Fahrzeugbestand einen wirtschaftlichen Tankstellenbetrieb nur an wenigen Orten in Deutschland zu. Der Bau und Betrieb von Erdgastankstellen ist bisher nicht attraktiv für Investoren außerhalb der Erdgaswirtschaft."

[0048] Wie der Vergleich der Kalkulationen einer typischen Großtankstelle des Typs 1 und einer Gastankstelle der Stadtwerke Esslingen beispielhaft zeigen, führt große Betankungstechnik zu geringeren Betriebskosten (inkl. Abschreibung; vgl. Figur 1). Während für die mittelgroße Gastankstelle der Stadtwerke Esslingen nicht einmal 1.000 Pkw-Äquivalente ausreichen, um die Gesamtkosten auf das Marktpreisniveau zu bringen, ist das mit großer Betankungstechnik bereits ab 570 Pkw-Äquivalenten aufwärts möglich. Erst bei einer Absatzmenge von 5,7 Mio. kWh_{Hi} kommt große Betankungstechnik mit ihren Kosten unter den von sehr großen, kommunale Busflotten versorgenden Gastankstellen vorgegebenen Marktpreis. Die gesamten Betriebskosten (Abschreibung, Strom, Kapitalverzinsung, Personal, Instandhaltung etc.) dürfen also ohne Gaskosten nicht höher ausfallen als 1,8 Cent/kWh_{Hi}. Was Figur 1 auch zeigt, sind die mit abnehmender Absatzmenge exponentiell ansteigenden Betriebs- und Gesamtkosten (der ungleichmäßige Verlauf der Kostenkurven hat seine Ursache in dem

wechselnden Maßstab der X-Achse). Bei einer Kundenschaft von weniger als 100 Pkw-Äquivalenten sind allein die Betriebskosten ohne Gas-Bezugskosten schon so hoch wie der realisierbare Marktpreis. Vor diesem Hintergrund haben sich die folgende Branchenmeinungen etabliert: 1.) "Nur große und sehr große Betankungstechnik führt zur Senkung der Kostenkurve"; 2.) "Je kleiner der Kundenstamm, desto höher die Verluste". Deshalb werden in Einzugsbereiche mit weniger als 250 Pkw-Äquivalenten kaum neue Gastankstellen installiert und in Einzugsbereichen mit weniger als 100 Pkw-Äquivalenten gar keine.

[0049] U.a. beschreiben WO-A-93/00264 (Fuel Systems) und EP0653585A1 (Sulzer-Burckhardt AG) eine konventionelle Gastankstelle und Befüllungsvorrichtungen des Typs 1. Dieser Gastankstellentyp 1 wird aktuell u.a. von dem deutschen Marktführer Schwelm, dem schweizerischen Unternehmen Greenfield, dem deutschen Unternehmen Bauer Kompressoren und dem italienischen Unternehmen BRC Fuelmaker hergestellt und vermarktet.

[0050] DE19933791A1 (Linde Gas AG) legt zwar ein Verfahren und eine Tankstelle zum Betanken eines Fahrzeugtanks mit einem gasförmigen Treibstoff offen, dieses bezieht sich aber sehr speziell auf die Trocknung von Gasen vor der Betankung, insbesondere auf die Trocknung von wasserstoffhaltigen Gasen. Die Offenlegungsschrift DE19933791A1 (Linde Gas AG) lehrt jedoch nicht die optimierte Nutzung verdichteter Tochter-Gastankstellen sogenannter Mutter-Tochter-Systeme.

[0051] Den Gastankstellentyp 2 bilden die nichtöffentlichen Garagen- oder Heimtankstellen, die an die häusliche Gasleitung angeschlossen werden. Das Gas wird dieser häuslichen Gasleitung entnommen, mit einem (relativ kleinen) Kompressor verdichtet und ohne Zwischenspeicherung über einen Betankungsschlauch und eine gasdichte Kupplung direkt in den Drucktank des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geführt. Der Gasdruck wird von einem Drucksensor überwacht, der i.d.R. zwischen Kompressor und Kupplung angeordnet ist. Da der Betankungsvorgang sehr langsam vonstatten geht (dieser Betankungsmodus wird auch "Slow Fill" genannt), entspricht der zwischen Kupplung und Kompressor gemessene Gasdruck in etwa dem Gasdruck im Drucktank des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges. Die mittlerweile erloschene EP0356377 (Greenfield AG) beschreibt eine solche nichtöffentliche Heimtankstelle.

[0052] Als typisches Beispiel beschreiben auch die Patente DE60318083T2 und WO2004 031643 (Anmelder Fuelmaker Corp., Toronto, CA; Inhaber MTM S.r.l., Cherasco, IT) eine Slow Fill-Heimtankstelle. Der Patentinhaber der DE6038083T2 / WO2004 031643 vermarktet diese quasi-mobile Heimtankstelle aktuell unter dem Namen BRC Fuelmaker Phill. Die Heimtankstelle nutzt üblicherweise einen relativ kleinen Kompressor, dessen typische Verdichtungsleistung von 0,8 bis 2,2 Nm³ Gas/h um den Faktor 90 bis 1.350 geringer ist als die Verdich-

tungsleistung der in großen Gastankstellen eingesetzten Kompressoren (s.o.). Ein Gasspeicher wird i.d.R. nicht eingesetzt, d.h., der Tank des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs wird direkt aus dem Kompressor befüllt.

[0053] Das Phill-Aggregat wird mit wenigen Schrauben an der Garagenwand befestigt und an die häusliche Gasleitung sowie an die häusliche Stromversorgung angeschlossen. Es kann relativ einfach wieder demontiert werden. In der Erdgas-Version kommt das Phill-Aggregat auf eine durchschnittliche Förderleistung von ca. 1,1 kg/h. Da für CNG-Pkw die übliche Betankungsmenge bei einem durchschnittlichen Betankungsvorgang ca. 20 Nm³ bzw. ca. 14,4 kg CNG beträgt und die Tankstelle keinen Speicher nutzt, muss der zu betankende Pkw bis zur vollen Betankung mit CNG ca. 13 Stunden mit der Heimtankstelle verbunden bleiben. Während dieser Zeit ist das CNG-Fahrzeug für den Nutzer nicht verfügbar, es sei denn, er entscheidet sich, mit einem nur teilweise gefüllten Tank loszufahren. Theoretisch könnte eine Heimtankstelle dieser Bauart bei einer Laufzeit von 12h/d den Gaskraftstoffbedarf von bis zu 8 Pkw-Äquivalenten decken, dann würde die Betankung aber nicht von der Nachfrage geführt, sondern vom Angebot. Unter der Annahme, dass dem Aggregat ein entsprechend dimensionierter Speicher nachgeschaltet wird und der Kompressor täglich lediglich 12 Stunden läuft, könnte eine Heimtankstelle mit der oben beschriebenen Verdichtungsleistung aber bis zu 4 Pkw-Äquivalente zeitversetzt mit Gaskraftstoff versorgen.

[0054] Von Vorteil ist, dass die Betankung daheim bzw. am Standort des Fahrzeugs erfolgt und der Fahrzeugnutzer keine öffentliche Gastankstelle aufsuchen muss, die ggf. weit entfernt ist. Gleichwohl hat der Fahrzeugnutzer i.d.R. die Kosten für den Stromeinsatz zu tragen, den der Klein-Kompressor verursacht. Dieser beträgt bezogen auf die Betankungsmenge ca. 0,06 kWh_{el}/kWh_{Gas}. Er fällt damit um über 40% höher aus als im Durchschnitt bei dem Gastankstellen-Typ 1. Außerdem fallen bezogen auf die Nutzung bzw. bezogen auf die Betankungsmengen relativ hohe Investitionskosten für die Anschaffung und den Anschluss der Heimtankstelle an die häusliche Gasleitung an sowie für eine separate Gasuhr. Letztere ist erforderlich, weil als Kraftstoff genutztes Erdgas zumindest in Deutschland vom Fiskus geringer mit Energiesteuer und resultierend mit Mehrwertsteuer belegt wird als Erdgas, das zum Heizen und Kochen genutzt wird. Ohne Nutzung einer solchen Gasuhr würde der Nutzer der Heimtankstelle Steuern hinterziehen. Um dies zu vermeiden, muss derjenige, der den Kraftstoff in den Verkehr bringt (also der Gasnetzbetreiber, der das Gas an den Fahrzeugnutzer abgibt), die abgegebenen CNG-Mengen separat erfassen - was für eine relativ geringe Gasmenge (rd. 8.000 kWh_{CNG} / Pkw / a) einen erheblichen apparativen und administrativen Aufwand mit sich bringt.

[0055] Der technische Aufwand der Anschaffung und Installation einer Heimtankstelle erfordert je nach den

lokalen Gegebenheiten aktuell Investitionen zwischen 3,5 TEUR und 6,5 TEUR, im Durchschnitt ca. 4,8 TEUR. Um 300 bis 700 Pkw-Äquivalente mit derartiger Betankungstechnik zu versorgen, müsste ein Gastankstellenbetreiber rd. 1,4 bis 3,4 Mio. Euro investieren, was rd. 500% - 1.000% der üblichen Investitionen für eine Großtankstelle des Tankstellentyps 1 sind. Ferner sind die spezifischen, auf eine kWh_{Gas} bezogenen Wartungskosten bei Heim- und Flottentankstellen deutlich höher als bei großen Tankstellen. Da zudem für dezentral benötigte, kleinere Strommengen deutlich höhere Preissätze zu zahlen sind als sie von Großtankstellen für große Strommengen bezahlt werden, liegen auch die gesamten spezifischen, auf die kWh_{Gas} bezogenen Tankstellen-Vollkosten ca. 200% bis 300% über den Vollkosten, die beim Betrieb von Großtankstellen entstehen.

[0056] Für den Fall, dass 2 Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge parallel betankt werden sollen, bietet der Hersteller BRC Fuemaker die Kompressormodelle FMQ-2, FMQ-2.5 und FMQ-2-36 an, die i.d.R. ebenfalls ohne Speicher arbeiten, aber mit 2,5 Nm³/h bis 4,3 Nm³/h (im effektiven Durchschnitt 3,4 Nm³/h) über eine höhere Verdichtungsleistung verfügt.

[0057] Offenbar überwiegen bei diesem Gastankstellentyp die Nachteile, denn bis auf einige wenige Test- bzw. Demo-Installationen werden in Deutschland aktuell keine Slow Fill-Heimtankstellen betrieben. In Italien ist das bedingt durch eine massive staatliche Förderung anders. Dort erhielten die Tankstellenbetreiber lange Zeit unter der Bedingung, die Tankstellen mindestens 5 Jahre zu betreiben, einen Zuschuss von 50% der anerkannten Errichtungskosten (siehe "Festsetzung der Kriterien und Modalitäten für die Gewährung und Auszahlung von Beiträgen laut Art. 6 des italienischen Landesgesetzes vom 19. Dezember 1995, Nr. 26, betreffend "Beiträge für Erdgas-Kleintankstellen" ").

[0058] Kleinere und mittelgroße nichtöffentliche Betriebshof- bzw. Flottentankstellen stellen den Gastankstellentyp 3 dar. Diese fungieren wie Heimtankstellen, aufgrund der höheren Zahl der mit gasförmigem Gaskraftstoff zu versorgender CNG-Fahrzeuge werden jedoch Kompressoren mit höherer Verdichtungsleistung eingesetzt. Außerdem können auch Gasspeicher eingesetzt werden. Für diesen Tankstellentyp existieren viele verschiedene Möglichkeiten der Speicherung von gasförmigen Kraftstoffen, so dass die Betankungszeiten den Bedürfnissen der jeweiligen Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugflotte angepasst werden können.

[0059] Voraussetzung der Betankung mit CNG ist beim Gastankstellentyp 3 wie bei dem Gastankstellentyp 2 die Anbindung an das Erdgasnetz. Beispiele für diesen Tankstellentyp sind die kleinen FMQ-Modelle des italienischen Herstellers BRC Fuemaker, nämlich die FMQ-2, FMQ-2.5 und die FMQ-2-36, sowie die großen FMQ-Modelle des Herstellers BRC Fuemaker, nämlich die FMQ-10 und FMQ-8-36 (10,3 Nm³ Gas/h bis 17,0 m³ Gas/h), sowie die Zapfstelle FP 1-M/TA des Herstellers Bauer-Kompressoren in Verbindung mit dem kleinen

Verdichter 120 - 5,5 (12,6 Nm³/h - 16,9 Nm³/h) und einer Speicherbank beliebiger Größe (z.B. Bauer B2000 für Außenaufstellung oder Bauer B1920 für die Integration in ein Gebäude).

[0060] Die zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge kommen i.d.R. zum Standort zurück, bevor ihr Gastank leergefahren ist, so dass das Anfahren einer öffentlichen Gastankstelle nicht erforderlich wird. Üblicherweise werden kleinere Fahrzeugflotten mit 3 bis 9 CNG-Fahrzeugen in deren Nutzungspausen an der nichtöffentlichen Betriebshof/ Flottentankstelle wiederbetankt. Die CNG-Fahrzeuge können jeder Art sein, also CNG-Pkw, leichte CNG-Nutzfahrzeuge, schwere CNG-Nutzfahrzeuge, CNG-Busse und CNG-Sonderfahrzeuge wie z.B. CNG-Müllsammelfahrzeuge und Gabelstapler.

[0061] Beim Gastankstellentyp 4 wird die relativ kleine, an das Erdgasnetz angebundene Anlagentechnik des Typs 3 für eine öffentliche Nutzung um eine geeichte Zapfsäule mit Durchflussmesseinrichtung und mit einer Anzeige des Einheitspreises, der getankten Menge und des Endpreises ergänzt. Ggf. werden auch eine automatisierte Bezahlmöglichkeit und ein erhöhter Ex-Zonenschutz ergänzt, der gleichzeitig auch als Vandalismus-schutz fungiert. Dieser Gastankstellentyp ist aus Kanada und aus den USA bekannt.

[0062] Da die Betankungszeit bei einer öffentlichen Gastankstelle in etwa so kurz sein muss wie bei einer öffentlichen Tankstelle für Flüssigkraftstoffe, werden zwingend Gasspeicher eingesetzt (vgl. Figur 17, wobei in Figur 17 die Zapfsäule nicht dargestellt ist). Deren Größe richtet sich nach der Anzahl der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge, die innerhalb der Zeit zur Betankung vorgehen, die der Verdichter benötigt, um den Gasspeicher um die getankte Gasmenge wieder aufzufüllen. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Laufzeit von 12 h/d kann z.B. der Verdichtertyp BRC Fuemaker FMQ-2-36 mit seiner effektiven Verdichtungsleistung von 2,7 Nm³/h (Verdichtung des Gases im Gasspeicher auf 248 bar, Entleerung des Gasspeichers auf rd. 200 bar) und einer Verfügbarkeit von 360 Tagen im Jahr bis zu 15 Pkw-Äquivalente mit Gaskraftstoff versorgen. Der Verdichtertyp BRC Fuemaker FMQ-8-36 kann mit seiner effektiven Verdichtungsleistung von rd. 11 Nm³/h (Verdichtung des Gases im Gasspeicher auf 248 bar, Entleerung des Gasspeichers auf rd. 200 bar) z.B. bei einer Laufzeit von rd. 12 h/d bis zu 60 Pkw-Äquivalente mit Gaskraftstoff versorgen.

[0063] In Deutschland sind aktuell keine derartig kleinen Gastankstellen im öffentlichen Einsatz; für den öffentlichen Einsatz wird die kleinste effektive Verdichtungsleistung aktuell von dem Hersteller Bauer Kompressoren angeboten, nämlich mit dem Kompressormodell 120 - 5,5, das bei einem Fülldruck von 250 bar zwischen 16,9 und 12,6 Nm³/h verdichtet. Bei einem Leerdruck (Restdruck der Gasspeicher nach Betankung des/der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge) von 200 bar entspricht dies einer effektiven Leistung von 13,0 Nm³/h.

[0064] Der Gastankstellentyp 5 wird durch kleine mo-

bile Komplett-Gastankstellen repräsentiert, wie sie z.B. das Unternehmen BRC Fuelmaker aktuell mit seinem Modell Shark herstellt und vermarktet. Dieser Typ 4 ist trotz seiner Kompaktheit modular aufgebaut und mit verschiedenen Speicherbänken lieferbar. Da die Verdichter ölfrei arbeiten, sind die Wartungskosten relativ gering. Es ist gleichwohl immer noch eine Anbindung an das Erdgasnetz erforderlich.

[0065] Aus dem Bereich der Tankstellen für Flüssigkraftstoffe sind DE000020213688U1 (Quru GmbH) und DE000020309846U1 (Quru GmbH) bekannt, jedoch ist dieser Typ mobiler Tankstellen nicht für die Betankung von Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugen mit gasförmigem Gas, sondern zum Betanken von konventionellen Kraftfahrzeugen mit Flüssigkraftstoffen vorgesehen, insbesondere von Diesel-Kraftfahrzeugen mit BioDiesel. Bei der Abgabe von gasförmigen Kraftstoffen werden - wie vorstehend erläutert - ganz andere Anforderungen an die einzusetzende Technik gestellt.

[0066] Das Modell Shark von BRC-Fuelmaker ist besonders geeignet für niedrige Eingangsdrücke von 17 bis 200 mbar, wie sie im Erdgas-Niederdrucknetz herrschen. Bei einer durchschnittlichen Verdichterlaufzeit von 12 h/d und entsprechend großen Speicherbänken können theoretisch bis zu 115 Pkw-Äquivalente mit Gaskraftstoff versorgt werden.

[0067] Der besondere Vorteil dieses Typs 5 besteht in der Mobilität dieser Tankstelle. Bis auf den Anschluss an das Erdgasleitungsnetz sind alle Module und Komponenten der Gastankstelle in einer einzigen Betoneinhausung integriert. Die Tankstelle kann nach Kappung des Anschlusses an das Erdgasleitungsnetz quasi auf einen Haken genommen, per Lkw woanders hin transportiert werden und dort nach Anbindung an das lokale Erdgasnetz wieder den Betrieb aufnehmen, ohne dass größere bauliche Maßnahmen ergriffen werden müssen. Gleichwohl beträgt der Bestand in Deutschland aktuell null Stück.

[0068] Den Gastankstellentyp 6 stellen Mutter-Tochter-Systeme dar, wobei die Mutter-Station gleichzeitig auch eine Gastankstelle sein kann. Hauptzweck der Mutter-Station ist jedoch die Befüllung mindestens einer mobilen Speicherbank (Gasspeicher) zwecks der Gasversorgung von Fahrzeugen mit Standort in Orten/Regionen ohne Anbindung ans Erdgasnetz. Die mindestens eine mobile Speicherbank kann unterschiedliche Größen aufweisen, je nach dem, wie viele Druckgas-Flaschen in ihr integriert sind. Sie wird wie ein sehr großer (mobiler) Fahrzeugtank mit Gas befüllt und meist per Lkw zu einer Tochter-Station gebracht, die nicht an ein Erdgasnetz angeschlossen ist. Oft beträgt der Befüllungsdruck aber nicht nur 200 bar, wie in befüllten Fahrzeugtanks, sondern 250 bis 300 bar oder auch noch mehr. Das geometrische Volumen der Speicherbank wird durch den höheren Druck besser ausgenutzt. U.a. vermarktet der italienische Hersteller BRC Fuelmaker solche Systeme des Typs 6.

[0069] Der Gastransport per Speicherbank und Lkw ist

technisch aufwändiger als der Gastransport per Pipeline, nicht zuletzt weil rd. 95% des Transportgewichts aus Stahlflaschen bestehen und nur rd. 5% aus Erdgas. Da Deutschland mit einer Länge von rd. 400.000 km ein relativ dichtes Erdgasnetz aufweist und der Transport von Erdgas per Flasche bzw. per Speicherbank technisch aufwändiger und kostenintensiver ist, hat die deutsche Gaswirtschaft auf den Einsatz von Mutter-Tochter-Systemen verzichtet. Allenfalls für Sonderveranstaltungen wie z.B. Autorennen mit CNG-Autos werden mobile Speicherbänke genutzt. In Schweden, das nur ein rudimentäres Erdgasnetz aufweist, werden derartige Mutter-Tochter-Systeme aber zur Versorgung von dezentralen Gastankstellen eingesetzt.

[0070] Die Tochter-Stationen gibt es in drei verschiedenen Design- bzw. Funktionsvarianten. Beim Gastankstellentyp 6a stellt die mobile, aus mehreren Druckgasflaschen bestehende Speicherbank in der Tochter-Station den Gaskraftstoff ohne nachgeschalteten Verdichter und ohne nachgeschaltete Speicherbank bereit. Es gibt lediglich einen Druckminderer. Die Tochter-Station ist damit verdichterlos.

[0071] Bei einem Beladungsdruck von beispielsweise 300 bar kann i.d.R. nur eine Entleerung der (mobilen) Speicherbank auf bis zu 200 bar stattfinden, denn das ist in Deutschland der Soll-Fülldruck der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge. Je nachdem, wie groß die mobile Speicherbank ist, kann nur eine mehr oder weniger geringe Anzahl von Betankungen vorgenommen werden, bevor die auf 200 bar entleerte Speicherbank durch eine volle ersetzt werden muss. Aufgrund der Nutzung einer Druckdifferenz von lediglich 100 bar (300 bar./ 200 bar) statt der vollen 300 bar wird die (geometrische) Kapazität der mobilen Speicherbank im einstufigen Betrieb nur zu rd. 33% genutzt.

[0072] DE10206502C1 (DaimlerChrysler AG) beschreibt einen solchen Druckgasanlagentyp mit mehreren Druckgasbehältern, bei dem die Druckgasbehälter in einem gemeinsamen Halterahmen angeordnet und an einen mit einem gemeinsamen Absperrventil versehenen gemeinsamen Gaskanal angeschlossen sind. Der Vorteil dieser Tochter-Stationen-Variante besteht in dem vermiedenen technischen Aufwand für den bzw. die Verdichter (Booster). Anstatt des vermiedenen technischen Aufwands für den Booster tritt jedoch der mit dem Lkw-Transport der mobilen Speicherbänke verbundene Aufwand, so dass der Transportaufwand ab einer gewissen Transportentfernung den eingesparten Kapital- und Betriebsaufwand für den Booster überkompensiert und ein Einspareffekt damit nicht mehr gegeben ist.

[0073] Das bisher bei dem Betrieb von regulären Tankstellen noch nicht beobachtete Weglassen des Boosters macht dann Sinn, wenn der technische Aufwand des Lkw-Transports geringer ist als der technische Aufwand der Installation und des Betriebs eines oder mehrerer Verdichter in der Tochter-Station. Das kann insbesondere bei einer geringen oder sehr geringen Zahl der Betankungen der Fall sein - was einem kleinen Einzugsbereich

entspricht - und/oder bei Nutzung der vorstehend erwähnten und nachstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Mehrstufenschaltung. Nach Kenntnis des Erfinders beläuft sich der aktuelle Bestand an Typ 6a-Gastankstellen in Deutschland auf null Stück.

[0074] Statt die Speicherbänke der Tochter-Stationen mobil auszuführen, kann alternativ eine mobile, auf einem Lkw installierte erste Druckspeicherbatterie eingesetzt werden, um (mobile und immobile) dezentrale zweite Gasspeicher nach deren (Teil-)Entleerung wieder zu befüllen. Dies kann mit und ohne Einsatz eines mobilen, auf dem Lkw oder an der mobilen ersten Druckspeicherbatterie installierten Verdichters erfolgen. Dabei geht jedoch durch die nicht vermeidbare Teilentspannung des umgefüllten Gases in nachteiliger Art und Weise ein Teil der vom Verdichter geleisteten Arbeit verloren.

[0075] Beim Gastankstellentyp 6b ist die Tochter-Station mit einem einfachen stationären Verdichter (Booster) ausgerüstet. Da dieser Verdichtertyp einen relativ hohen Eingangsdruck von beispielsweise 30 bar benötigt, kann die ihm vorgeschaltete mobile oder wiederbefüllbare stationäre Speicherbank nur bis auf einen Restdruck von ca. 30 bar entleert werden, was aber deutlich besser ist als der Restdruck von 200 bar, wie er vom Typs 6a erreicht wird. Ceteris paribus erfordert dies weniger häufige Wechsel der mobilen Speicher bzw. eine weniger häufige Wiederbefüllung der stationären Speicher als bei Tochter-Stationen ohne Booster. Gleichwohl fällt technischer und ökonomischer Aufwand für die Beschaffung und den Betrieb des Boosters an.

[0076] Dem Booster sind bei diesem Tochter-Typ ein oder mehrere Speicherbänke nachgeschaltet, die nach entsprechender Booster-Befüllung zwischen eine und zwei, teilweise auch bis zu vier Druckstufen aufweisen können. Die Zahl der Druckstufen richtet sich nach der Kapazität des Boosters, die Boosterkapazität wiederum richtet sich nach dem (noch) im mobilen Speicher enthaltenen Gasdruck. Zweck des mehrstufigen Betriebs der Gasspeicheranlage ist eine möglichst rasche Befüllung der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtanks.

[0077] Die vorstehend erwähnte DE19650999C1 (Mannesmann AG), bei der das abzufüllende Gas mit einem niedrigen Eingangsdruck in einen ersten Verdichter geführt, mit diesem auf einen erhöhten Druck gebracht, mit dem erhöhten Druck in einem ersten Gasspeicher zwischengespeichert, von dort in einen zweiten Verdichter geführt, mit diesem auf ein weiter erhöhtes Druckniveau gebracht und über einen zweiten Gasspeicher zu einer Zapfanlage geleitet wird, entspricht im Wesentlichen diesem Typ 6b. Der einzige Unterschied des Typs 6b zur vorbekannten Anlage der DE19650999C1 ist das Merkmal, dass der erste Gasspeicher mobil ist. Der italienische Hersteller BRC Fuelmaker bietet einen Booster an, der mit einer Stromaufnahme von 15 - 18 kW_{el} typischerweise zwischen 100 Nm^3/h (Input-Druck 30 bar) und 1.000 Nm^3/h (Input-Druck 250 bar) auf 300 bar bringen kann.

[0078] Statt eines Boosters ist auch der Einsatz einer

der in DE19916385C2 (Mannesmann AG) und DD115528A1 (Greer Hydraulics Inc.) beschriebenen Anlagen zur Gasspeicherung möglich, bei denen die Gasspeicher jeweils zwei voneinander separierte Teilvolumina aufweisen. Die Teilvolumina sind durch eine in der Position und/oder Größe veränderbaren Wand voneinander getrennt, so dass der Inhalt beider Teilvolumina veränderbar ist. Mit einer Flüssigkeitspumpe kann Flüssigkeit oder Gas in den einen Teils des geteilten Gasspeicher gepresst werden mit der Folge, dass das Gas im anderen Teil des Gasspeichers verdrängt wird und/oder dass sich der Gasdruck erhöht.

[0079] Die deutsche Patentschrift DE915696 (BV ARAL AG; Anmeldung am 31.05.1944, Bekanntmachung am 24.12.1953, Veröffentlichung am 16.06.1954) beschreibt eine Betankung von Kraftfahrzeugen mit Gaskraftstoff mittels "ortsbeweglicher Speicherbatterien, die jeweils an der Tankstelle (gemeint ist der Standort des ortsunbeweglichen Verdichters; d. Verf.) gefüllt wurden, um dann ihrerseits die Flaschen (gemeint sind die mobilen Druckgastanks; d. Verf.) des Wagens zu betanken". Um die (mit günstigstenfalls 60% angegebene) begrenzte Nutzungsquote der Speicherkapazität der mobilen Speicherbatterien zu erhöhen, wird gemäß DE915696 (BV ARAL AG) das nach einem Druckausgleich mit dem mobilen Gastank noch in den Speicherbatterien vorhandene Gas mittels einer "geeigneten Flüssigkeit" verdrängt. Der Gasverdichter wird hier durch eine Flüssigkeits-Pumpe ersetzt, die anlagentechnisch weniger aufwändig ist und effizienter arbeiten kann als ein Gasverdichter. Infolge der Verdrängung des Gases durch eine "geeignete Flüssigkeit" reduziere sich die Menge des ungenutzt in den ortsbeweglichen Behältern verbleibenden Gaskraftstoffes auf bis zu 3%.

[0080] DE102007049458A1 (Anmelder: MAN Nutzfahrzeuge AG; Erfinder: Prümm; im Folgenden auch Prümm-Verfahren genannt) greift diese Idee, bei der im Gasspeicher die Trennwand zwischen den beiden Teilvolumina entfällt, für die Nutzung in Fahrzeugen, insbesondere in Dieselfahrzeugen, auf. Zur Verdrängung der gespeicherten Gase in dem mindestens einen Gasspeicher wird eine Ausgleichsflüssigkeit eingesetzt, in der sich das Gas nicht lösen kann. Die Ausgleichsflüssigkeit wird mittels einer Flüssigkeitspumpe aus einem Flüssigkeitsbehälter in den mindestens einen Gasspeicher gepumpt wird.

[0081] Es ist vorstellbar, in den Tochter-Stationen die i.d.R. aus Druckgasflaschen bestehenden Speicherbänke durch spezielle, neben dem Druckgas auch Ausgleichsflüssigkeit enthaltende Druckgasflaschen zu ersetzen und diese mit im Sinne der DE19916385C2, DD115528A1 und DE102004 063071A1 und/oder der 915696 in Verbindung mit der DE102007049458A1 mit einer Flüssigkeitspumpe, einem Flüssigkeitsbehälter und entsprechenden Leitungen und Steuer- sowie Regleinheiten zu ergänzen, um die teilentleerten Speicherbänke mittels Einpressung von Ausgleichsflüssigkeit noch weiter zu entleeren und um so die Speicher-

kapazität der mobilen oder ggf. ortsfesten Gasspeicher besser auszunutzen. Eine solche Konstruktion ersetzt in vorteilhafter Weise den Gasverdichter (Booster).

[0082] Der Betrieb einer Typ 6b-Tochter-Station ist von Vorteil, wenn die Zahl der Betankungen bzw. der Versorgungsgrad ein solches Niveau erreicht hat, dass der technische Aufwand des Lkw-Transports zur Herbeischaffung von mobilen Speichern den technischen Aufwand der Anschaffung und des Betriebs eines Booster überschreitet. Bei welchem Versorgungsgrad dies der Fall ist, hängt gemäß neuer Erkenntnis des Erfinders multifaktorell von den allgemeinen Rahmenbedingungen und den spezifischen Rahmendaten der betroffenen Tochter-Station ab. Für die Berechnung der optimalen Aufrüstpunkte bzw. Aufrüstmengen muss aufgrund der Komplexität der Berechnung i.d.R. ein EDV-gestütztes Simulationsprogramm eingesetzt werden.

[0083] Da Deutschland mit einem sehr dichten Erdgasnetz versehen ist, sind derartige, vom Erdgasnetz unabhängigen Tochter-Stationen hier weder installiert noch in Betrieb.

[0084] Beim Gastankstellentyp 6c sind die Tochter-Stationen mit Doppel-Kompressoren (BiBoostern) und nachgeschalteten Speicherbänken ausgerüstet. Vorteil dieser Variante ist, dass die mobile Speicherbank bis auf einen Restdruck von rd. 5 bar entleert werden kann, was ceteris paribus die Zahl der Wechsel der mobilen Speicherbänke reduziert. Nachteile dieser Variante der Tochter-Station sind der höhere technische Aufwand eines zweiten, dem ersten vorgeschalteten Boosters und der höhere technische Aufwand eines höheren Stromverbrauchs.

[0085] Auch für den Gastankstellentyp 6c ist vorstellbar, den BiBooster und die mindestens eine Speicherbank durch eine Druckgasspeicheranlage zu ersetzen, die nach dem vorstehend beschriebenen Prümm-Verfahren arbeitet. Sowohl die nach dem Prümm-Verfahren arbeitende Druckgasspeicheranlage als auch eine mit einem BiBooster ausgestattete Gastankstelle des Typs 6c schaffen es, statt lediglich rd. 33% bzw. 40% über 90% des zwischengelagerten bzw. herbeitransportierten Gases zu nutzen.

[0086] Der italienische Hersteller BRC Fuelmaker bietet einen BiBooster an, der mit seiner elektrischen Kapazität von 37 kW_{el} bis 55 kW_{el} ein typisches Beispiel darstellt, das in der bereits erwähnten DE19650999C1 beschrieben ist. Bei einem Eingangsdruck von 5 bar verdichtet dieser BiBooster rd. 100 Nm³/h auf 300 bar und bei einem Eingangsdruck von 250 bar rd. 3.000 Nm³ auf 300 bar.

[0087] Aus Schweden ist von der AGA Gas AB, einer Tochtergesellschaft der Linde AG, der Gastankstellentyp 7 bekannt (vgl. Ragnar Sjö Dahl, "LBG Infrastructure in Sweden" AGA Gas AB; www.biogasmax.eu/media/4t2_biogasmax_goeteborg_rs_096140200_0657_30092009.pdf). Der Gaskraftstoff wird nach der Erzeugung (BioMethan) bzw. nach der Entnahme aus dem Gasnetz (Erdgas) und nach einem ggf.

erfolgten Zwischentransport an einem zentralen Ort verflüssigt und damit in Liquefied Natural Gas (LNG) bzw. in Liquefied BioMethan (LBM) umgewandelt. Nach Abfüllung mit mäßigem Druck (i.d.R. 5 bar bis 8 bar) in einen mobilen Flüssiggastank wird das flüssige Gas zu mindestens einer Tochter-Station transportiert, üblicherweise per Lkw. Dort erfolgt eine Aufstellung des mobilen Flüssiggastanks oder eine Umfüllung in einen stationären Flüssiggastank. In der Tochter-Station entnimmt ein Verdichter das Flüssiggas aus dem Flüssiggastank, verdichtet es und leitet das verdichtete Flüssiggas durch einen Wärmetauscher. In dem Wärmetauscher nimmt das verdichtete Flüssiggas Wärme aus der Umgebung auf, wodurch es gasförmig wird. Das gasförmige, unter einem erhöhten Druck (i.d.R. 280 bar bis 300 bar) stehende Gas wird in einer Speicherbank zwischengespeichert, der eine Zapfsäule nachgeschaltet ist. Mittels der Zapfsäule werden die Gastanks der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge befüllt, üblicherweise mit einem Fülldruck von 200 bar.

[0088] Alternativ wird das verflüssigte, unter moderatem Druck stehende Flüssiggas mit einem entsprechenden Verdichter nur etwas weiter verdichtet und ohne Zwischenspeicherung mittels einer Flüssiggas-Zapfsäule direkt in den Flüssiggastank eines LNG-Fahrzeuges verfüllt.

[0089] Ggü. den Mutter-Tochter-Systemen des Tankstellentyps 6, die mit gasförmigem Gas arbeiten, nutzen die Mutter-Tochter-Systeme des Tankstellentyps 7 verflüssigtes Erdgas bzw. verflüssigte Erdgassubstitute. Beim verflüssigte Erdgas fließt weniger Energie in den Erzeugungs- und Umwandlungsprozess, außerdem können pro Lkw-Fuhre statt lediglich rd. 3,5 t gasförmiges Gas bis zu 20 t flüssiges Gas transportiert werden, denn das Tara-Gewicht ist um bis zu 16,5 t geringer. Hochdruck-Gasflaschen aus Stahl wiegen bezogen auf die Befüllungskapazität eben deutlich mehr als Flüssiggastanks. Die Verflüssigung des Gases ist deshalb insbesondere dann von Vorteil, wenn Transportwege zu den Tochter-Stationen zurückgelegt werden (müssen), die so weit sind, dass die Transportkosteneinsparungen höher ausfallen als die zusätzlichen Kosten der (Erd-)Gasverflüssigung.

[0090] In Deutschland gibt es aktuell ca. 6.250 Flüssiggastankstellen, wobei alle diese Flüssiggastankstellen das fossile Rohölderivat LPG abgeben, eine Mischung aus den Rohöl- und Erdgasbegleitgasen Propan und Butan. Keine der deutschen Flüssiggastankstellen transformiert das LPG jedoch in CNG oder in gasförmiges PG.

[0091] DE10107187A1 (Linde AG) beansprucht den Schutz für eine Tankstelle für kryogene Medien, insbesondere für verflüssigten und/oder gasförmigen, unter hohem Druck stehenden Wasserstoff. Diese Tankstelle für kryogene Kraftstoffe ermöglicht die ggf. gleichzeitige Betankung von Fahrzeugen jeder Art mit einem verflüssigten und einem gasförmigen, unter hohem Druck stehenden Medium. Nicht berührt werden jedoch das erfin-

dungsgemäße Verfahren oder die erfindungsgemäße Anlage zur optimierten Abgabe gasförmiger Gaskraftstoffe aus verdichterlosen Speicherbänken an mobile Verbraucher.

[0092] DE29816811 U1 (Wiedemann) bezieht sich auf die Speicherung von brennbaren Kraftgasen wie Erdgas und Wasserstoff in einem Gasspeicher, der in der Lage ist, sein geometrisches Volumen zu verändern. Solch ein Gastankstellen-Modul kann ggf. in einem der vorstehend beschriebenen Tankstellentypen zum Einsatz kommen. Dies ändert aber nichts an der Tatsache, dass das Gebiet der hier vorgelegten Offenlegung, die optimierte Abgabe von gasförmigen Gaskraftstoffen aus verdichterlosen Speicherbänken an mobile Verbraucher, nicht betroffen ist.

[0093] EP1559949A1 (Gavenco AB) beschreibt ein Verfahren und ein System zur Betankung von Gasfahrzeugen und eine Neukonstruktion für einen in Gasfahrzeugen einzubauenden Gastank, jedoch nicht ein Verfahren oder ein System zur optimierte Abgabe von gasförmigen Gaskraftstoffen aus verdichterlosen Speicherbänken an mobile Verbraucher.

[0094] DE102008007928A1 (Linde AG) legt ein Verfahren zum Befüllen eines mobilen Gastanks mit druckbeaufschlagtem Wasserstoffgas offen, jedoch nicht ein Verfahren oder ein System zur optimierte Abgabe von gasförmigen Gaskraftstoffen aus verdichterlosen Speicherbänken an mobile Verbraucher.

[0095] In DE102004026728A1 (Fitzner) wird die Idee offenbart, die zur Betankung von Gasfahrzeugen mit gasförmigem Gas erforderlichen Einrichtungen (Verdichter, Drucksensoren) mit an Bord des Gasfahrzeuges zu nehmen, wobei das Gasfahrzeug wie eine Heimtankstelle an die häusliche Erdgasleitung angeschlossen wird. Diese Abart der Slow Fill-Betankung wird vom erfindungsgemäßem Verfahren nicht genutzt und hier auch nicht weiter verfolgt, da sie einen erheblichen Umbau der Gasfahrzeuge bedingt und der in das Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug integrierte Verdichter das Fahrzeuggewicht unnötig erhöhen würde. Außerdem könnte der Verdichter statt für mehrere Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge nur für ein einziges Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug genutzt werden, was den Zweck des hier offenbarten erfindungsgemäßen Verfahrens, die Minimierung des für die Betankung zu treibenden anlagentechnischen Aufwands, konterkarieren würde.

[0096] Aufgrund der vorstehend aufgeführten höheren Effizienz großer Verdichter (Volumeneffekte bzw. economies of scale) haben sich die Betreiber von Gastankstellen bislang für große Verdichter statt für kleine und damit für große Gastankstellen statt für kleine entschieden. Die Stromkosten stellen nämlich unter den variablen Kosten den mit Abstand größten Posten in Gewinn- und Verlustrechnung einer Tankstelle. Im Durchschnitt haben die Verdichter eine Kapazität von rd. 103 Nm³/h (s.o.), mit der dauerhaft rd. 444 Pkw-Äquivalente versorgt werden könnten (die kleinsten in Deutschland in eine öffentliche Gastankstelle verbauten Verdichter haben eine

Verdichtungskapazität von 15 Nm³/h; in den letzten 10 Jahren sind in öffentlichen Gastankstellen jedoch kaum Verdichter verbaut worden, deren Leistung nicht mindestens 35 Nm³/h betrug).

[0097] Bei einem ausreichend großen Kundenbestand können mit Verdichtungsleistungen von rd. 103 Nm³/h und einem Einzugsgebiet von 444 Pkw-Äquivalenten auch gute spezifische Vollkosten von erreicht werden (vgl. Figur 1). Das Problem ist, dass die weitaus meisten CNG-Tankstellen diesen Kundenbestand nicht erreicht haben. Statt 444 und mehr Pkw-Äquivalente versorgen sie mit relativ großer Betankungstechnik im Durchschnitt lediglich 223 Pkw-Äquivalente (s.o.), in Einzelfällen deutlich weniger. Die Betriebs- und die Vollkosten befinden sich deshalb auf hohem Niveau (vgl. Figuren 1). Diese Kostensätze werden nur von CNG-Tankstellen unterschritten, die (auch) kommunale Busflotten versorgen und die Absatzmengen von mehr als 10.000.000 kWh_{Hi} pro Tankstelle und Jahr aufweisen, was 1.000 Pkw-Äquivalenten entspricht.

[0098] Da das allgemeine Marktpreisniveau im CNG-Tankstellenmarkt jedoch von eben diesen sehr großen, kommunale Busflotten versorgenden CNG-Tankstellen bestimmt wird, lassen sich Betriebskosten von mehr als 1,8 Cent/kWh_{Hi} kaum durchsetzen (siehe Figur 1). U.a. aus diesem Grund sind innerhalb der letzten 12 Jahre, in denen Gasfahrzeuge propagiert werden, nicht mehr als die aktuell rd. 900 CNG-Tankstellen errichtet worden (vgl. die Studie der deutschen Energieagentur GmbH (dena) "Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix - Handlungsbedarf und Lösungen für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr", Berlin im Januar 2010 sowie die Aktualisierung dieser dena-Studie "Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix - Handlungsbedarf und Lösungen für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr", Aktualisierte Fassung, Berlin im September 2011). In der gleichen Zeit wurden aber rd. 6.250 LPG-Tankstellen in Betrieb genommen. Dementsprechend ist die Zahl der LPG-Fahrzeuge in Deutschland auf rd. 472.000 Fahrzeuge gestiegen, während die Zahl der deutschen CNG-Fahrzeuge aktuell gerade erst 96.000 Stück erreicht hat.

[0099] Allein die Notwendigkeit der Erstellung der vorstehend aufgeführten dena-Studien und ihre Titel dokumentieren ein erhebliches Defizit bei der Etablierung der gasförmiges Gas nutzenden Fahrzeugantriebe im Verkehr. Bislang haben es weder die Gaswirtschaft noch die Mineralölwirtschaft noch die freien Tankstellenbetreiber noch die Automobilhersteller noch Vereinigungen wie die Erdgas Mobil GmbH geschafft, die Infrastrukturen zu schaffen, die für eine wirkliche Etablierung der Gasantriebe im Verkehr notwendig sind.

[0100] Wie vorstehend dargelegt wurde, sind zur flächendeckenden Versorgung Deutschlands mindestens 5.000 CNG-Tankstellen erforderlich. Während die Betreiber von Gastankstellen auf eine ausreichend hohe Zahl zu versorgender CNG-Fahrzeuge warten (570 Pkw-Äquivalente pro großer Gastankstelle), warten die poten-

ziellen Käufer von CNG-Fahrzeugen auf eine ausreichend hohe Zahl von CNG-Tankstellen (eben jene oben erwähnten 5.000 Stück). Dieses Henne-Ei-Problem stellt für den Ausbau des Fahrzeugbestandes mit CNG-Antrieben das größte Hindernis dar.

[0101] Daneben ergibt sich ein zweites Problem: ein rascher Ausbau der Zahl der Gastankstellen würde den Absatz der bestehenden CNG-Tankstellen kannibalisieren. Die Zahl der Gastankstellen, die eine kommunale Busflotte versorgen, würde mit rd. 100 Stück in etwa gleich bleiben. Damit würden auch deren Absatzmengen von > 10.000.000 kWh/a unverändert bleiben. Bei einer massiven Zunahme der Zahl der restlichen Tankstellen auf z.B. 4.900 Stück würde sich deren kaum wachsender Kundenstamm von insgesamt rd. 178.000 Pkw-Äquivalenten nicht mehr auf 800 Gastankstellen verteilen, sondern auf eben diese 4.900 Gastankstellen. Der durchschnittliche Kundenbestand würde von aktuell 223 Pkw-Äquivalenten (s.o.) auf 36 Pkw-Äquivalente zurückgehen mit fatalen Folgen für die Kostenkurven (vgl. Figur 1). Die CNG-Tankstellen, die keine kommunalen Busflotten versorgen, würden dann noch weiter in die roten Zahlen geraten.

[0102] Diese beiden Probleme sind neben anderen die Gründe dafür, dass in Deutschland kaum neue Tankstellen für gasförmige Gaskraftstoffe errichtet werden und dass sich der Gastankstellen-Bestand seit Jahren nicht nennenswert erhöht hat.

Aufgabenstellung

[0103] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, das in Deutschland bestehende Henne-Ei-Problem und das Kannibalisierungsproblem zu lösen sowie technische Betankungs-Lösungen (neue Verfahren und Anlagenkonfigurationen) zu schaffen, die mit relativ geringem technischem und ökonomischem Aufwand auch dann Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge mit gasförmigem Gaskraftstoff versorgen können, wenn die Zahl der im Einzugsbereich einer Gastankstelle stationierten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge gering oder sehr gering ist. Gleichzeitig besteht die Aufgabe, diese Gastankstellen-Infrastruktur so zu gestalten, dass sie unter Erhalt des relativ geringen technischen und ökonomischen Aufwands an steigende Absatzmengen anpassbar ist. Vor allem sind technische Lösungen zu definieren, die eine Gaskraftstoff-Distribution an den ca. 4.100 (die erforderlichen 5.000 abzüglich der an 900 Standorten bereits installierten Gastankstellen) deutschen Standorten gewährleisten, die bislang keine Tankstelle für gasförmige Gaskraftstoffe aufweisen.

Lösung und Vorteile

[0104] Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens im Wesentlichen durch die im Anspruch 1 aufgeführte Erfindung gelöst und hinsichtlich der Anlagenkonfiguration bzw. der Systeme im Wesentlichen durch die im An-

spruch 6 aufgeführte Erfindung, wobei vorteilhafte Weiterentwicklungen des Verfahrens in den Unteransprüchen 2 bis 5 aufgeführt werden und vorteilhafte Weiterentwicklungen der Anlagenkonfiguration in den Unteransprüchen 7 bis 10. Um bislang nicht mit Gaskraftstoff versorgte Standorte insbesondere in der Anfangsphase kostengünstiger als bisher mit Gastankstellen ausstatten zu können, werden zunächst kleine Gastankstellen des Gastankstellentyps 6 errichtet und zwar ohne Verdichter (Kompressor). Sie weisen einen verringerten apparativen Aufwand auf. Um das vorhandene Gasspeichervolumen besser auszunutzen, werden die Druckstufen bzw. Speichertanks der Gasspeicheranlage der Gastankstelle nicht seriell sondern parallel geschaltet und das erfindungsgemäße Schaltschema zur Betankung der mobilen Verbraucher, insbesondere zur Betankung der Gas- und Mehrkraftstofffahrzeuge, eingesetzt. Aufgrund der verbesserten Ausnutzung des geometrischen Gasspeichervolumens werden der auf eine Energieeinheit (MJ, kWh_{H₂}) bezogene apparative und ökonomische Aufwand der Distribution gasförmiger Kraftstoffe für kleine Gastankstellen reduziert.

[0105] Diese kleinen, verdichterlosen Gastankstellen sind nicht an das Erdgas-Leitungsnetz angebunden und können deshalb relativ frei aufgestellt und betrieben werden. Der Tiefbau von Erdgasleitungen zur Schaffung einer Anbindung an das Leitungsnetz kann entfallen, was den apparativen und ökonomischen Aufwand der Gasdistribution nochmals senkt. Diese Vorgehensweise steht dem beschriebenen konventionellen Vorgehen, nämlich der Errichtung großer und größter Betankungstechnik an neuen Standorten diametral gegen. Durch die bewusste und systematische Vermeidung zu großen technischen Aufwands in der Anfangsphase der Distribution neuer Standorte und durch die vorgesehene schrittweise Vergrößerung der Gastankstellen werden sowohl die spezifischen, auf eine Mengeneinheit bezogenen Infrastrukturkosten als auch die entsprechenden Vollkosten im Bereich geringer Absatzmengen ganz erheblich reduziert. Sie sind dann zwar noch immer höher als die entsprechenden Kosten von großen Gastankstellen mit großen Absatzmengen, aber geringer als bei Einsatz der (zu) großen konventionellen Betankungstechnik an Standorten mit geringen Absatzmengen.

[0106] Die Erfindung setzt zum Teil auf den vorbekannten Offenlegungen EP0356377 (Greenfield AG), EP0653585A1 (Sulzer-Burckhardt AG), EP0995943A2 (m-tec Gastechologie GmbH), DE19730459A1 (Mannesmann AG), DD282351A7 (VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig-Grimma), EP1559949A1 (Gavenco AB), DE19650999C1 (Mannesmann AG), Bartosch, Braun, Drewitz: "Erdgas - ein neuer Kraftstoff für Kraftfahrzeuge; die Markteinführung durch die Stadt Augsburg" (Mannesmann Demag AG 1996), WO-A-93/00264 (Fuel Systems), DE19933791 A1 (Linde Gas AG), EP0356377 (Greenfield AG), US265096 / WO2004031643 / DE6031808T2 (Fuelmaker Corp.), DE000020213688U1 (Quru GmbH), DE0000

20309846U1 (Quru GmbH), DE1020650 2C1 (DaimlerChrysler AG), DE19650999 C1 (Mannesmann AG), DE19916385C2 (Mannesmann AG), DD115528A1 (Greer Hydraulics Inc.), DE102007049458A1 (MAN Nutzfahrzeuge AG), DE10107187A1 (Linde AG), DE29816811 U1 (Wiedemann), DE102008 007928A1 (Linde AG), DE102004026728A1 (Fitzner) und Ragnar Sjö Dahl, "LBG Infrastructure in Sweden" (AGA Gas AB, 25.09.2009) auf, deren Offenbarungsgehalte ausdrücklich in das erfindungsgemäße Verfahren und in die erfindungsgemäßen Anlagenkonfigurationen einbezogen werden. Bekannt sind auch das eMobil-Angebot der e.on AG und das Komplettpaket der e.on AG für CO₂-freies Fahren mit ÖkoStrom umfassend eine Ladebox inklusive professioneller Installation, umweltfreundlichen Kraftstoff (Strom) aus regenerativen Energien und - wenn gewünscht - ein Elektroauto (vgl. www.eon.de/mobil).

[0107] Jedoch ist keine dieser Offenlegungen darauf ausgerichtet, die technische Ausstattung insbesondere kleiner Gastankstellen zu minimieren und die reduzierte technische Ausstattung durch intelligente Steuerung des Betankungsvorgangs und durch optimierte Nutzung des geometrischen Gasspeichervolumens zu kompensieren, insbesondere nicht im Absatzmengenbereich von weniger als 640.000 kWh_{Hi} pro Gastankstelle und Jahr.

[0108] Auch haben die bisher üblichen tankstellenspezifischen Anpassungen der Verdichterleistung und der Speicherkapazität an die tankstellenspezifischen Änderungen der Absatzmengen nicht den kompletten Mengenbereich von dem Gaskraftstoffbedarf eines einzigen Pkws bis hin zu dem Gaskraftstoffbedarf mehrerer tausend Pkw(-Äquivalente) abgedeckt. Weder sind die Anlagenmodule der vorbekannten Offenlegungen systematisch darauf ausgerichtet, den *relativen* technischen Aufwand und damit die spezifischen, auf die abgegebene kWh_{Gas} bezogenen anteiligen Abschreibungen und den spezifischen, auf die abgegebene kWh_{Gas} bezogenen anteiligen Kapitaleinsatz sowie dessen Verzinsung einer ganzen Gastankstellen-Infrastruktur dynamisch, d.h. in Abhängigkeit von der effektiven tankstellenspezifischen Absatzmenge, zu minimieren, noch sind es die offengelegten Verfahren und Anlagen insgesamt. Insbesondere sind die vorbekannten Verfahren und Anlagen nicht darauf ausgerichtet, die spezifischen, auf die abgegebene kWh_{Gas} bezogenen, anteiligen Vollkosten in Abhängigkeit von geringen Absatzmengen zu minimieren.

[0109] Das erfindungsgemäße, auf die Anpassung der eingesetzten Tankstellentechnik an den (zunächst geringen) tankstellenspezifischen und tankstellenübergreifenden Gaskraftstoffbedarf der Kundschaft ausgerichtete Verfahren zur Betankung mobiler Gaskraftstoffverbraucher besteht zunächst einmal in einer mengenspezifischen Optimierung des anlagentechnischen und energetischen Aufwandes. Darüberhinaus werden insbesondere für geringe Absatzmengen ein neues Betankungsverfahren und ein neues Betankungsanlagensystem offenbart (vgl. Ansprüche 1 und 2 bis 5 sowie Ansprüche 6 und 7 bis 10), die den Einsatz nicht ans

Erdgasnetz angebundener, verdichterloser Tochter-Stationen als Gastankstellen vorsehen, wobei die Entleerung der angelieferten Gasvorratsbehälter mittels einer Mehrzahl von kaskadenartig geschalteter Druckstufen maximiert wird. Diese Maximierung der Entleerung der bei den verdichterlosen Tochter-Station angelieferten Gasvorratsbehälter reduziert die erforderliche Anzahl der als Transportbehälter und/oder als Vorratsbehälter eingesetzten Gasspeicherbehälter und auch den technischen und ökonomischen Aufwand für den Transport der Gasspeicherbehälter von der Mutter- zu der mindestens einen Tochter-Station, mit der Folge, dass die spezifischen Vollkosten der Betankung in erheblichem Maße zurückgehen, insbesondere im Bereich kleiner und kleinster Absatzmengen.

[0110] Da auch der Verdichter sowie die Anlagen zur Gastrocknung und Gasfilterung fehlen (die Gastrocknung und -filterung wird von der häufiger genutzten Mutter-Station vorgenommen), kann dieser erfindungsgemäße Sub-Typ des Gastankstellentyps 6 in sehr vorteilhafter Weise Betankungsleistung zu relativ geringen spezifischen Vollkosten bereitstellen - auch und gerade in Lokalisationen mit stark unterdurchschnittlichem Absatz.

[0111] Dieser Erfindung des neuen Betankungsverfahrens und Betankungsanlagensystems steht Bartosch, Braun, Drewitz: "Erdgas - ein neuer Kraftstoff für Kraftfahrzeuge; die Markteinführung durch die Stadt Augsburg" (Mannesmann Demag AG 1996; vgl. DE19650999C1 Figur 2) nicht entgegen, denn weder ist das Schaltschema der Figur 2 zwölfstufig ausgeführt, noch beinhaltet es ein Mutter-Tochter-System ohne Anbindung der Tochter-Station an ein Erdgasnetz, noch ist die Tochter-Station ohne Verdichter, noch ist das Schaltschema der Figur 2 auf die maximale Entleerung des Gasspeichers ausgerichtet. Das Schaltschema der Figur 2 hat vielmehr den Zweck, die vom Verdichter zu leistende Arbeit und den infolge der Gasentspannung auftretenden Arbeitsverlust des Verdichters zu minimieren (vgl. DE19650999C1 Spalte 4 Zeilen 46 bis 57 sowie DE19650999C1 Figur 4 Kurve b).

[0112] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und des erfindungsgemäßen Betankungssystems ergeben sich daraus, dass die zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge mit ihrem auf wenige bar Restdruck leergefahrenen Druckgastanks zunächst aus bereits teilentleerten Gasbehältern der Gasspeicheranlage der verdichterlosen Tochter-Station mit Gaskraftstoff befüllt werden. So wird auch noch das in den teilentleerten Gasbehältern befindliche Gasdruckniveau genutzt, obwohl es unterhalb des Soll-Fülldrucks der Druckgastanks der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge liegt.

[0113] Wenn z.B. 12 parallel geschaltete und mehrstufig betriebene Gasflaschen mit einem geometrischen Volumen von jeweils 80 Litern jeweils mit einem Gasdruck von 350 bar beladen werden und die zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge im Durchschnitt Tanks mit einem geometrischen Volumen von 100 Litern und einem Restdruck von 20 bar aufweisen, dann ent-

leert das 1. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug bei seiner Betankung die 1. Gasflasche unter Berücksichtigung des thermodynamischen Realgasfaktors (Kompressibilitätsfaktors) für Methan auf einen Restdruck von ca. 135 bar und die 2. Gasflasche auf einen Restdruck von ca. 208 bar. Bei einer üblicherweise praktizierten Reihenschaltung könnte der Restdruck der 1. Gasflasche nicht mehr genutzt werden, denn er liegt bereits unter dem Soll-Fülldruck des Drucktanks des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges, der üblicherweise rd. 200 bar beträgt. Das ist in vorteilhafter Weise bei der Parallelschaltung anders.

[0114] Das 2. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug kann wenigstens noch zum Teil aus der 1. Gasflasche befüllt werden. Bei dieser 2. Befüllung aus der 1. Gasflasche (mit ihrem Restdruck von 135 bar) stellt sich nach dem Druckausgleich ein neuer Restdruck von ca. 74 bar ein. Durch die anschließende Befüllung des Druckgastanks des 2. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges aus der 2. Gasflasche (mit ihrem Restdruck von ca. 208 bar) ergibt sich bei dieser nach dem Druckausgleich ein Restdruck von ca. 126 bar. Um den Druckgastank des 2. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges von ca. 126 bar auf 200 bar zu bringen und den Betankungsvorgang zu beenden, muss die 3. Gasflasche angezapft werden. Deren Restdruck beträgt nach der vollständigen Betankung des 2. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch ca. 196 bar.

[0115] Das 3. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug mit seinem auf einen Restdruck von 20 bar geleerten Tank wird gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zunächst aus der 1. Gasflasche befüllt, deren Restdruck von noch 74 bar nach dem Druckausgleich auf ca. 47 bar zurückgeht. Die folgende Befüllung des Tanks des 3. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges aus der 2. Gasflasche lässt deren Restdruck nach dem Druckausgleich von ca. 126 bar auf ca. 83 bar sinken. Das anschließende Umschalten auf die 3. Gasflasche füllt den Druckgastank des 3. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges mit ca. 158 bar und hinterlässt die 3. Gasflasche mit eben diesem Restdruck von ca. 158 bar. Zur vollständigen Befüllung wird auf die 4. Gasflasche umgeschaltet, die den Druckgastank des 3. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges auf 200 bar bringt und danach noch einen Restdruck von ca. 200 bar aufweist.

[0116] Bei der Betankung des 4. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges sinkt der Restdruck der 1. Gasflasche weiter von ca. 47 bar auf ca. 32 bar, der Restdruck der 2. Gasflasche von ca. 83 bar auf ca. 53 bar, der Restdruck der 3. Gasflasche von ca. 158 bar auf ca. 84 bar und der Restdruck der 4. Gasflasche von ca. 200 auf ca. 129 bar.

[0117] Insgesamt geht der Restdruck in den Gasflaschen mit jedem zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug weiter zurück, aber niemals weiter als der (niedrigste) Restdruck im Tank des mobilen Verbrauchers, insbesondere des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtanks. Ohne Wiederauffüllung des Gasspeichers ist der Restdruck der ersten drei Gasflaschen in diesem Berechnungsbeispiel nach der 12. Betankung auf 20 bar zurückgegangen. Er beträgt dann in der 4. Gasflasche

noch 21 bar, in der 5. Gasflasche noch 24 bar, in der 6. Gasflasche noch 29 bar, in der 7. Gasflasche noch 37 bar, in der 8. Gasflasche noch 45 bar, in der 9. Gasflasche noch 64 bar, in der 10. Gasflasche noch 80 bar, in der 11. Gasflasche noch 120 bar und in der 12. Gasflasche noch 155 bar. D.h., mit 12 Gasflaschen und 12 Druckstufen können 12 Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge vollständig und das 13. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug noch zu 52% betankt werden, wenn deren geometrisches Tankvolumen 100 Liter beträgt und sich der Restdruck in den Druckgastanks vor der Betankung noch auf 20 bar beläuft.

[0118] Bei einer Befüllung eines aus 12 Standard-Gasflaschen mit einem geometrischen Volumen von jeweils 80 Litern bestehenden Gasspeichers mit 250 bar werden unter Berücksichtigung des thermodynamischen Realgasfaktors (Kompressibilitätsfaktors) für Methan rd. 267 m³ Gas vorrätig gehalten. Bei einer einstufigen Betriebsweise können damit 2,25 Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge mit 100-Liter-Druckgastanks vollständig betankt werden, und zwar insgesamt mit 53,4 m³. Von der Beladungskapazität werden so lediglich 20% genutzt.

[0119] Bei einer Befüllung derselben 12 Stück 80-Liter-Gasbehälter mit 350 bar (vgl. Ansprüche 1 und 70 bis 75 sowie Ansprüche 81 und 150 bis 155) erhöht sich der Gasvorrat unter Berücksichtigung des thermodynamischen Realgasfaktors (Kompressibilitätsfaktors Z) für Methan auf rd. 335 m³. Bei Nutzung der offenbarten erfindungsgemäßen Mehrstufen-Schaltung können 12 Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge mit 100-Liter-Druckgastanks vollständig betankt werden, insgesamt mit rd. 285 Nm³. Die Nutzungsquote der Beladungskapazität der Speicherbank nimmt ohne Einsatz eines Verdichters (!) und ohne Nachfüllung auf rd. 83% zu. Die eingesetzte Gasspeicheranlage wird um den Faktor 4 (!) besser genutzt.

[0120] Mit der erfindungsgemäßen Betankungssystem und dessen erfindungsgemäßer Betriebsweise erhöht sich die Leistung der verdichterlosen Tochter-Station also um $285 \text{ Nm}^3 / 94 \text{ Nm}^3 - 1 = 200\%$. Nicht nur die Erhöhung der nutzbaren Gasmenge um den Faktor 4 reduziert den Anlagenaufwand in der Tochter-Station ganz erheblich, sondern auch das Weglassen des Verdichters. Um 12 Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge aus einer Tochter-Station ohne Wiederbefüllung des Gasvorratsbehälters betanken zu können, müssten bei einem Verzicht auf den Verdichter bei einem Befüllungsdruck von 250 bar unter Berücksichtigung des thermodynamischen Realgasfaktors (Kompressibilitätsfaktors) für Methan statt 12 parallel geschaltete vielmehr rd. 40 in Reihe geschaltete Standard-Gasflaschen eingesetzt werden, deren Beladungskapazität zudem nur zu rd. 20% genutzt werden könnte. Die vermiedenen 28 Gasflaschen sparen einen erheblichen technischen Aufwand ein, nicht nur aufgrund des wesentlich geringeren Transportaufwandes bei der Wiederbefüllung, sondern auch wegen der wesentlich geringeren Abschreibung, der wesentlich geringeren Kapitalbindung und der wesentlich geringeren

Zinslast. Selbst bei einem Befüllungsdruck von 350 bar würden ohne dem erfindungsgemäßen Verfahren unter Berücksichtigung des thermodynamischen Realgasfaktors (Kompressibilitätsfaktors Z) für Methan statt 12 immerhin noch 23 Standard-Gasflaschen à 80 Liter benötigt, um 12 Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge mit 100-Liter-Druckgastanks betanken zu können.

[0121] Der erfindungsgemäße Vorteil des geringeren technischen Aufwands ist dabei umso größer, je höher der Beladungsdruck bei dem mobilen Speicher ausfällt (vgl. Ansprüche 5 und 10) und je mehr Druckstufen eingesetzt werden (vgl. Ansprüche 1 und 6). Gleichzeitig nimmt der technische Aufwand mit der Zahl der eingesetzten Gasflaschen bzw. mit der Größe der Gasspeicher zu bzw. ab. Eine möglichst geringe Zahl an Gasflaschen bzw. an geometrischem Gasspeichervolumen ist deshalb vorteilhaft (vgl. Ansprüche 5 und 10). Die optimale Kombination aus den 3 Faktoren Befüllungsdruck des mobilen Gasspeichers, Anzahl / Größe der Gasvorratsbehälter und Anzahl der genutzten Druckstufen ist gemäß neuer Erkenntnis des Erfinders eine Funktion der Absatzmenge und damit von der Zahl der zu versorgenden Pkw-Äquivalente abhängig. D.h., für eine Nachfrage von beispielsweise 15 Pkw-Äquivalenten ist eine andere Faktorkombination optimal als für die Nachfrage von 40 Pkw-Äquivalenten. Aus diesem Grund wird nicht nur für einzelne Werte, sondern die in den Ansprüchen aufgeführten Bandbreiten der Faktorenwerte Schutz beansprucht.

[0122] Deutschland hat ohne Flüsse, Seen und Hochgebirge eine Fläche von rd. 350.000 km² und eine Einwohnerzahl von rd. 82 Mio. Menschen. Bei 5.000 Standorten für Gastankstellen entfällt auf einen Standort im Durchschnitt eine versorgte Fläche von rd. 70 km² und eine versorgte Einwohnerzahl von rd. 16.400 Menschen. Bei angenommener kreisförmiger Ausgestaltung der versorgten Flächen und bei Inkaufnahme von Überlappungsbereichen ergibt sich ein durchschnittlicher Flächenradius von 7,4 km, d.h. ein Gasfahrzeugnutzer hat es im Durchschnitt nicht weiter als 7,4 km zur nächsten Gastankstelle. Das ist heute bei weitem nicht so.

[0123] Erfindungsgemäß wird ferner der Vorteil des relativ geringen Investitionsvolumens genutzt, um die Gastankstelleninfrastruktur auszubauen. Nunmehr kann ein Standort für wenige zehntausend Euro mit einer ersten Möglichkeit zur Betankung mit Gaskraftstoff versehen werden. Als weiterer Vorteil ergibt sich, dass die Installation einer verdichterlosen Tochter-Station im Vergleich zur Errichtung einer öffentlichen Gastankstelle sehr schnell vonstatten geht, es fallen weder Tiefbauarbeiten an noch ist ein Starkstromkabel für den meist sehr stromintensiven Verdichter erforderlich.

[0124] Die erfindungsgemäße systematische Nutzung der Typ 6a-Tankstellentechnik (vgl. Ansprüche 1 und 6) hat den ersten Vorteil, dass keine Anbindung an das Erdgasnetz erforderlich ist. Die Verlegung einer Erdgasleitung, und sei es auch nur die Verlegung einer mehr oder weniger kurzen Stichleitung, kann entfallen. Das spart

baulichen Aufwand ein und vor allem Zeit. Außerdem kommen wesentlich mehr Standorte für die Errichtung der öffentlichen Tankstelle in Frage, als wenn bei der Standortsuche Rücksicht auf das Vorhandensein eines Erdgasnetz-Ausspeisepunktes genommen werden müsste.

[0125] Zweiter Vorteil der erfindungsgemäßen systematischen Nutzung der Typ 6a-Betankungstechnik ist das relativ geringe Investitionsvolumen: es kann eine öffentliche Gastankstelle eingerichtet werden, ohne dass anlagentechnisch aufwändige und teure Verdichtertechnik installiert werden muss. Die Verdichtung erfolgt vielmehr zentral durch einen großen und effizienten Verdichter einer Mutter-Station, der Gas nicht nur effizienter komprimieren kann als ein dezentraler Verdichter kleiner oder mittlerer Leistungsklasse, sondern i.d.R. bedingt durch den wesentlich höheren Stromverbrauch auch noch in den Genuss eines geringeren Stromkostensatzes kommt. Nach neuer Erkenntnis des Erfinders überkompensieren die resultierenden spezifischen, auf die kWh_{Gas} bezogenen Stromkosteneinsparungen und die eingesparten Abschreibungen und Kapitalkosten für die dezentralen Verdichter die Kosten des Lkw-Transports der aufgeladenen Speicherbänke von der Mutter-Station zur Tochter-Station bzw. zu den mehreren Tochter-Stationen.

[0126] Dieser zweite Vorteil der Typ 6-Betankungstechnik verbessert sich weiter, wenn der erfindungsgemäße, vorstehend beschriebene Subtyp der Betankungstechnik eingesetzt wird, bei dem die Entleerung des Vorratsspeichers der Tochter-Station durch dessen mehrstufige Betriebsweise maximiert wird (vgl. Ansprüche 1 und 6). Vorteilhafte Folge ist, wie vorstehend beschrieben wurde, dass die spezifischen Vollkosten je kWh_{H₂} noch weiter zurückgehen als beim Einsatz lediglich verdichterloser Tochter-Stationen. Die Angemessenheit der ausgewählten Größe der Gasspeicheranlage lässt sich an ihrem geometrischen Volumen ablesen, das möglichst klein sein sollte (vgl. Ansprüche 5 und 10), und / oder an der Zahl der eingesetzten (Standard-)Gasflaschen, die ebenfalls möglichst klein ausfallen sollte.

[0127] Die erfindungsgemäße Gestaltung des Aufbaus der Gastankstellen-Infrastruktur hat den besonderen Vorteil, dass der jeweilige Tankstellenbetreiber nicht ins Ungewisse hinein in Tankstellen-Infrastruktur investieren muss. Aufgrund des geringeren Break-Even-Absatzes kann die Errichtung der (einfachen) Gastankstelle auch schon dann erfolgen, wenn sich auch nur eine relativ geringe Nachfrage gezeigt hat. Dieser Vorteil kann nicht hoch genug eingeschätzt werden, ermöglicht er doch den Aufbau einer ganzen Betankungs-Infrastruktur und ein nahezu organisches Wachstum aus sich selbst heraus ohne die Notwendigkeit, ganz erhebliche Vorab-Investitionen vornehmen zu müssen, die üblicherweise mit großen Unsicherheiten verbunden sind und deshalb nur von sehr kapitalkräftigen Unternehmen vorgenommen werden können.

[0128] So könnte es z.B. - wie in der Vergangenheit in

Deutschland hundertfach geschehen - durchaus passieren, dass der standortspezifische Gaskraftstoffabsatz unterhalb der Menge stagniert, bei der der Einsatz einer konventionellen Gastankstelle angebracht wäre. Hätte der Distributor des Gaskraftstoffes an dem bzw. an den bewussten Standorten von Anfang an eine große konventionelle Gastankstelle installiert, würde diese wie vorstehend erläutert nicht nur kurzfristig, sondern mittel- und langfristig mit roten Zahlen arbeiten. Bei Nutzung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dies viel weniger wahrscheinlich.

[0129] Bei der Versorgung und Bevorratung der nicht an das Erdgasnetz angebotenen Tochter-Stationen mit Gaskraftstoff kann es von Vorteil sein, den Vorratsbehälter stationär auszuführen und diesen stationäre Gasspeicher mittels einer mobilen Speicherbank wiederzubefüllen und dafür eine mobile Verdichtungsanlage (Booster) einzusetzen.

[0130] Wie wichtig die Vermarktung der Kraftstoffe bei der Distribution neuer Kraftstoffe ist, hat die in Deutschland bislang fehlgeschlagene wiederholte Einführung des Mischkraftstoffs Super E10 gezeigt. Insbesondere neue Gaskraftstoffe bedürfen der Unterstützung durch eine dichte und flächendeckende Tankstellen-Infrastruktur und durch ein intelligentes Distributionssystem, nicht zuletzt damit die einzelnen Standorte bzw. die einzelnen Gastankstellen rasch große Absatzmengen erreichen.

[0131] Zwar könnte im Prinzip auf die Vermarktung des bzw. der (ggf. neuen) Gaskraftstoffe und der aus der Kombination von THG-freiem Gaskraftstoff und Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug resultierenden Nullemissionsmobilität und damit auf die aktive Steigerung des Absatzes und entsprechend auch auf die aktive Steigerung der Anlagenauslastung verzichtet werden, das würde aber den Aufbau der Tankstellen-Infrastruktur zur physischen Distribution eben dieser (ggf. neuen) Gaskraftstoffe erheblich verzögern und letztlich das strategische Ziel der gesamten, auf den Aufbau einer flächendeckenden physischen Distribution von erdölunabhängigem und treibhausfreiem Gaskraftstoff ausgerichteten Bemühungen konterkarieren.

[0132] Wenn die Abgabemengen einer Typ 6-Tankstelle zunehmen und die leertankten Speicherbänke einer Tochter-Station in immer kürzeren zeitlichen Abständen durch volle Speicherbänke ersetzt werden müssen, kann es von Vorteil sein, die Speicherkapazität der mobilen Speicherbänke zu erhöhen. Der resultierende geringere Transportaufwand kann ab einer bestimmten zellenspezifischen Absatzmenge den zusätzlichen technischen Aufwands (Vergrößerung der mobilen Speicherbänke) überkompensieren - was Ziel der Aktion ist. Welche Technik wann durch welche andere Technik ersetzt wird, ergibt sich aus deren jeweiligen Einfluss auf die spezifischen Infrastruktur- bzw. Vollkosten, die wiederum von der jeweiligen Absatzmenge abhängig sind.

[0133] Übergeordnetes Ziel der Erfindung ist es, mit möglichst geringen Vorab-Investitionen und mit vom Betreiber selbst finanzierten Investitionen eine Tankstellen-

Infrastruktur für die physische Distribution neuer, erdölunabhängiger, absolut THGfreier, nicht in Flächenkonkurrenz mit der Nahrungsmittelherstellung stehender (!), nachhaltig erzeugter Gaskraftstoffe aufzubauen (vgl. die Offenlegungen DE10 2010017818A1 und WO2011101137A1 des Erfinders) und damit unabhängig zu machen von den bestehenden (fossilen) CNG-Verteilstrukturen, deren Betreiber oftmals (fossile) Eigeninteressen haben, die den Interessen der Vermarkter innovativer Kraftstoffe entgegenstehen. Den neuen erdölunabhängigen und zugleich THG-freien Gaskraftstoffen soll damit zum Durchbruch verholfen werden. Gleich wie hoch die Betankungsmengen pro Standort auch ausfallen und wie dynamisch sich diese entwickeln, die Tankstellentechnik soll stets kosten- und aufwandsoptimiert gestaltet sein. Vor allem sollen auch bislang vernachlässigte Standorte mit gasförmigem Kraftstoff, insbesondere mit erdölunabhängigem, absolut THG-freiem Gaskraftstoff versorgt werden, in denen die gesamte Nachfrage nach Gaskraftstoff dem Bedarf von weniger als 30 Pkw-Äquivalenten oder noch deutlich weniger entspricht.

[0134] Wenn das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb einer Gastankstelle und die erfindungsgemäße Gastankstelle Anlagenkonfigurationen flächendeckend realisiert sind, kann fast jeder beliebige Ort in Deutschland relativ kostengünstig und dauerhaft mit Gaskraftstoff versorgt werden. Aktuell kann die für die physische Distribution von CNG aufgebaute CNG-Tankstellen-Infrastruktur erst rd. 18% des Bundesgebietes versorgen.

[0135] Mit dem hier offengelegten Verfahren und der erfindungsgemäßen Gastankstelle können nicht nur die Gase Erdgas, THG-reduziertes BioMethan und SynMethan in vorteilhafter Weise quasi an jeden Ort in Deutschland gebracht (physisch distribuiert) werden, sondern auch und insbesondere der vom Erfinder entwickelte erdölunabhängige und absolut THG-freie Gaskraftstoff Methan^{ZeroEmission} (vgl. Offenlegungen DE102010017818 A1 und WO20 11101137A1 des Erfinders). Diese Vorgehensweise vermeidet Überinvestitionen, stellt aber dennoch eine Vollversorgung sicher.

[0136] Mit der resultierenden Gastankstellen-Infrastruktur ist die notwendige Grundlage gelegt, um relativ kostengünstige und erdölunabhängige Nullemissionsmobilität, die nicht auf neuer und problembehafteter Elektro- oder Wasserstofftechnik basiert, sondern auf bewährter Verbrennungsmotorentechnik und auf einem überragenden neuen Kraftstoff, relativ rasch in die breite Anwendung zu bringen. Ohne die bestehende Automobiltechnik groß verändern bzw. weiterentwickeln zu müssen (also weder das Produkt, noch die Herstellungsverfahren, noch die Herstellungsanlagen), wird mit der kombinierten Nutzung von konventionellen CNG-Fahrzeugen und innovativem Gaskraftstoff CO₂-arme bzw. CO₂-frei Automobilität möglich. Diese ist zudem unabhängig vom Erdöl und damit auch unabhängig von ggf. weiter steigenden Rohölpreisen. Die (europäische) Automobilindustrie kann nach wie vor hochwertige Autos

bauen, ohne die Technologie groß ändern zu müssen. Benzinmotoren sind mit lediglich kleinen technischen Eingriffen zu Gasmotoren zu modifizieren.

[0137] Die vorgeschaltete nachhaltige Erzeugung von erdölunabhängigen und THG-reduzierten bzw. THG-freien Gaskraftstoffen und die hier offengelegte tankstellenübergreifende, aufwandsoptimierte, von bestehenden Verteilstrukturen unabhängige Distribution von erdölunabhängigen und THG-reduzierten bzw. THG-freien Gasen und deren Verwendung als Kraftstoff in Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugen sind also von Vorteil für die (deutsche) Automobilindustrie, für deren Arbeitnehmer, für die Autokäufer und -nutzer und last but not least für die Umwelt.

Detaillierte Beschreibung

[0138] Zum besseren Verständnis wird die Erfindungen im Folgenden auch anhand von Zeichnungen beschrieben, wobei zum Teil fachspezifische Terminologie zum Einsatz kommt. Es sei darauf hingewiesen, dass der Schutzzumfang der Erfindungen durch die Angabe von Ausführungsbeispielen nicht eingeschränkt werden soll, da Veränderungen und Modifizierungen an dem offenbarten Verfahren, an der offenbarten Anlagenkonfiguration und an der Anwendung der Erfindung sowie weitere Anwendungen der Erfindungen als übliches derzeitiges oder künftiges Fachwissen eines zuständigen Fachmanns angesehen werden.

Figur 1 zeigt die empirisch nachvollzogene Kurven der *relativen* (= spezifischen), auf eine kWh_{Gas} bezogenen Infrastruktur- und Vollkosten des Vertriebs von gasförmigen Gaskraftstoffen über Gastankstellen, nämlich zwei Infrastrukturkostenkurven einer mit mittelgroßer Betankungstechnik ausgestatteten Tankstelle des Typs 1 der Stadtwerke Esslingen und einer typischen mit großer Betankungstechnik ausgestatteten Tankstelle des Typs 1, wobei sich die Infrastrukturkosten auf die Abgabemenge von 1 kWh_{Hi-Gas} beziehen und die mit uneinheitlichem Maßstab versehene X-Achse der Grafik den Absatzmengenbereich von 1 Pkw-Äquivalent bis 1.000 Pkw-Äquivalente darstellt;

Figur 2 zeigt ein schematisches Blockdiagramm des erfindungsgemäßen Betankungssystems als wesentliche Systemkomponenten umfassend ein Erdgasleitungsnetz mit Ausspeisepunkt, eine Mutterstation mit relativ großem Verdichter, einen mobilen Gasspeicher, eine Tochter-Station mit Zapfsäule, Betankungsschlauch und Zapfhahn sowie das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug;

Figur 3 zeigt ein Schaltschema für den erfindungsgemäßen mehrstufigen Betrieb einer verdichterlosen Tochter-Station und für die entsprechende mehrstufige Betankung von Gas- oder Mehrkraft-

stofffahrzeugen aus mehreren parallel geschalteten Gasdruckstufen.

[0139] Die Erfindung wird im Folgenden im Detail beschrieben.

[0140] In **Figur 1** sind die *relativen* (= spezifischen) Infrastrukturkosten zweier mit mittelgroßer und großer Anlagentechnik ausgerüsteten typischen Gastankstellen des Typs 1 in Abhängigkeit von den jährlichen Absatzmengen dargestellt, wobei die jährlichen Absatzmengen in Pkw-Äquivalenten (PÄ) angegeben sind (1 Pkw verbraucht aktuell rd. 10.000 kWh_{Hi-Gas}/a). Die mit Dreiecken versehene Kurve zeigt die relativen Infrastrukturkosten einer mittelgroßen Gastankstelle der Stadtwerke Esslingen (deren Daten wurden dem Aufsatz von Rilling "Kosten und Preise bei Erdgastankstellen" der Zeitschrift für kommunale Wirtschaft, Ausgabe 11 / 2005, Seite 6 entnommen) und die mit Quadraten versehene Kurve die relativen Infrastrukturkosten einer typischen großen Gastankstelle des Typs 1, wobei unter den Infrastrukturkosten die Betriebskosten ohne Kosten des Gasbezugs zu verstehen sind.

[0141] Im direkten Vergleich zeigt sich, dass sehr große Betankungstechnik (Verdichter und Speicher) bei sehr großen Abgabemengen von > 500 PÄ deutlich vorteilhaft ist. Bei beiden Gastankstellengrößen steigen die Infrastrukturkostensätze mit abnehmendem (Jahres-) Absatz exponentiell an. Die Abschreibung auf die Errichtung der Gastankstelle, die Abschreibung auf den Ersatz bzw. die Erneuerung des Verdichters sowie der entsprechenden Kapitalzinsen, Personal- bzw. Pächterkosten und weitere fixe Kosten bleiben nämlich unabhängig von der jährlichen Absatzmenge immer gleich hoch.

[0142] Da unter den gegebenen Rahmenbedingungen des aktuellen CNG-Markts Tankstellenbetreiber keine Infrastrukturkosten akzeptieren, die höher als 3 Cent/kWh_{Gas} ausfallen und diese offensichtlich nur mit großer und sehr großer Betankungstechnik erreicht werden, haben Hersteller von Gastankstellentechnik und Gastankstellenbetreiber ihren Fokus auf Absatzbereiche > 300 PÄ gerichtet. Für diese Akteure war die Kostenentwicklung oberhalb von 4 Cent / kWh_{Gas} und damit < 150 PÄ völlig uninteressant. Insbesondere wenn CNG-Busse oder sonstige verbrauchsintensive kommunale Gasfahrzeuge zu versorgen sind, steigen die jährlichen Absatzmengen rasch auf bis zu 1.000 PÄ oder mehr, denn ein CNG-Bus verbraucht in etwa so viel Gaskraftstoff wie 50 CNG-Pkw. Entsprechend spielte bislang die Entwicklung der relativen Kosten in dem Kleintankstellenbereich für die Gastankstellen-Betreiber keine Rolle.

[0143] Um auf immer günstigere Kosten zu kommen, installierten die Tankstellenbetreiber - wie im vorstehenden Abschnitt "Stand der Technik" dargestellt wurde - bislang immer größere Tankstellentechnik. Dabei wurde vergessen, dass die günstigen Kosten große Absatzmengen zur Voraussetzung haben. Wenn sich diese nicht materialisieren, geraten die Betreiber großer Gastankstellen in den linken, steil ansteigenden Teil der in

Figur 1 aufgezeigten Kostenkurven. Selbst mit mittelgroßer Gastankstellentechnik durchbrechen die Infrastrukturkostensätze bereits bei weniger als ca. 450 Pkw-Äquivalenten die kritische 2 Cent-Linie nach oben und bei weniger als ca. 220 Pkw-Äquivalenten die 3 Cent-Linie.

[0144] Mit mittelgroßer Betankungstechnik steigen die Infrastrukturkostensätze bei weniger als 200 Pkw-Äquivalenten auf über 4 Cent / kWh_{Gas}. Um mit dieser mittelgroßen Betankungstechnik auf einen kostendeckenden Betrieb zu kommen, müsste der Marktpreis mehr als 8 Cent/kWh_{Gas} betragen - was nicht der Fall ist. In der Folge bleiben sehr viele potenzielle Tankstellenstandorte unbesetzt, insbesondere solche, in denen sich die tatsächliche Nachfrage auf weniger als 100 Pkw-Äquivalente beläuft. Die Erfindung schließt diese Lücke (s.o.).

[0145] **Figur 2** zeigt in einem vereinfachten Blockschema die einfachste Bauform einer Typ 6-Gastankstelle. Dargestellt sind nur die für die Thematik wesentlichen Anlagenmodule. Diese wesentlichen Teile umfassen ein Erdgasleitungsnetz mit einem Ausspeisepunkt, eine Mutter-Station mit einem (großen) Verdichter, mindestens einen mobilen Gasspeicher, mindestens eine Tochter-Station jeweils mit mindestens einer Zapfsäule mit Betankungsschlauch und Zapfhahn, an der mindestens ein Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug betankt wird. Der mindestens eine mobile, unter Hochdruck von bis zu 350 bar stehende Gasspeicher wird an der Tochter-Station abgesetzt und an diese angeschlossen. In der Tochter-Station erfolgt keine weitere Druckerhöhung. Es wird nur so viel Gas in den Tank des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges eingelassen, bis der Solldruck von 200 bar erreicht ist. Wenn der Gasdruck im mobilen Gasspeicher unter 200 bar gesunken ist, wird dieser teilentleerte mobile Gasspeicher durch einen vollen mobilen Gasspeicher ersetzt.

[0146] Alternativ kommen das erfindungsgemäße Betankungsverfahren und/oder das erfindungsgemäße Betankungssystem zum Einsatz. Der mobile Gasspeicher besteht dabei aus einer Mehrzahl von Druckgastanks, vorzugsweise aus Standard-Druckgasflaschen, wobei die einzelnen Druckstufen nicht in Reihe sondern parallel geschaltet sind. Die Parallelschaltung erlaubt den individuellen Zugriff auf jede einzelne Druckstufe, was das erfindungsgemäße Verfahren erst möglich macht. Wie vorstehend beschrieben kann die Druckstufe 1 der Gasspeicheranlage der Gastankstelle durch die erfindungsgemäße Aufschaltung der einzelnen Druckstufen auf den zu betankenden Druckgastank des mobilen Verbrauchers ohne Einsatz eines Verdichters (Kompressors) annähernd auf das unterste Druckniveau entleert werden, das in Form eines zu betankenden Druckgastanks angeliefert wird. D.h., der entsprechende Speichertank bzw. die entsprechende Druckstufe der Gasspeicheranlage der Gastankstelle kann durch eine mehrstufige Schaltung annähernd auf das im Druckgastank des mobilen Verbrauchers herrschende Druckniveau entleert werden, also auf bis zu 10 bar und darunter (s.o.). Das ist ggü. der bisher üblichen Entleerungsweise von gro-

ßem Vorteil (s.o.).

[0147] **Figur 3** zeigt ein Schaltschema der wesentlichen Aktionen und Weichen für einen mehrstufigen Betrieb einer verdichterlosen Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems zur mehrstufigen Betankung von mobilen Verbrauchern, insbesondere von Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugen. Zunächst wird die Gasabgabeanlage vorbereitet, und zwar durch eine in kurzen Zeitabständen vorgenommene Messung und ein entsprechendes Loggen (Abspeichern) der Umgebungstemperatur. Die Umgebungstemperatur wird benötigt, um aus bekannten, temperaturabhängigen Tabellen die richtigen Kompressibilitätsfaktoren entnehmen zu können, die wiederum benötigt werden, um für die jeweiligen Rahmenbedingungen (Gastemperatur, Druckniveau des/der Gasspeicher, Restdruck des Drucktanks des mobilen Verbrauchers etc.) den höchsten zulässigen Soll-Fülldruck berechnen zu können. Danach geht die (elektronische) Steuerung der Gasabgabeanlage in eine Warteschleife und wartet auf den Beginn des (nächsten) Betankungsvorgangs.

[0148] Der Betankungsvorgang beginnt mit der Entnahme der Zapfpistole (des Zapfhahns) aus der Halterung in der Zapfsäule. Nach der Entnahme der Zapfpistole aus der Halterung und der druckfesten Verbindung des leergefahrenen Gasfahrzeugtanks GFT des mobilen Verbrauchers (Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges) mit der Betankungsanlage (mittels Zapfhahn und Zapfschlauch der Betankungsanlage) wird zunächst geprüft, ob im Zapfschlauch bzw. in der Verbindungsleitung ein relevanter Druck von z.B. 3 bar aufgebaut werden kann. So wird geprüft, ob die Zapfanlage in Ordnung ist. Ist dies der Fall, erfolgt eine Messung des im Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtank GFT noch vorhandenen Restdrucks p_{GFT} . Wenn der Restdruck p_{GFT} kleiner ist als das Druckniveau des Gasspeichers GS-1 (p_{GS-1}) der Gasspeicheranlage der Gastankstelle, wird a) das Ventil zum Gasspeicher GS-1 bis zum Druckausgleich DA geöffnet, b) gleichzeitig die durchströmende Gasmenge bzw. -masse gemessen und c) weiterhin der (steigende) Druck p_{GFT} im Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtank GFT gemessen. Das Ventil zum Gasspeicher GS-1 bleibt i.d.R. bis zum Druckausgleich DA zwischen dem Gasspeicher und dem Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtank GFT geöffnet, es sei denn, der aus der Umgebungstemperatur und aus einem Sicherheitsabschlag berechnete höchstzulässige Soll-Fülldruck wird vorher erreicht. In diesem Fall schließt das Ventil vor dem vollständigen Druckausgleich, d.h., im Gasspeichertank GS-1 verbleibt ein höherer Gasdruck als im Druckgastank GFT des Gasfahrzeuges.

[0149] Wenn der Restdruck p_{GFT} des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtanks GFT größer ist als das Druckniveau des Gasspeichers GS-1 (p_{GS-1}), erfolgt die Prüfung, ob der Restdruck p_{GFT} kleiner ist als das Druckniveau des nächsten Gasspeichers, also des Gasspeichers GS-2 (p_{GS-2}). Wenn dies der Fall ist, wird a) das Ventil zum Gasspeicher GS-2 bis zum Druckausgleich

DA geöffnet, b) gleichzeitig die durchströmende Gasmenge bzw. -masse gemessen und c) weiterhin der (steigende) Druck p_{GFT} im Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtank GFT gemessen.

[0150] Wenn der Druck p_{GFT} im Druckgastank des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges den Soll-Fülldruck von beispielsweise 200 bar abzüglich eines berechneten Sicherheitsabschlags von beispielsweise 2 bar, was einen Soll-Fülldruck von 198 bar ergibt, wird das Ventil_{GS-1} zum Gasspeicher GS-1 (bzw. das Ventil_{GS-2} zum Gasspeicher GS-2) geschlossen und der Betankungsvorgang beendet (vgl. Ansprüche 1 und 6).

[0151] Wenn der berechnete Soll-Fülldruck von 198 bar nach dem Druckausgleich mit dem ersten Gasspeicher GS-1 nicht erreicht wurde, wird der zweite Gasspeicher GS-2 aufgeschaltet und wenn dessen Druck nicht ausreicht, der dritte Gasspeicher GS-3 und so fort, bis im Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtank GFT der Soll-Fülldruck von 198 bar erreicht ist (vgl. Ansprüche 1 und 6). Die vorstehend beschriebenen Vorgänge der Gasdruckprüfung der jeweils nächsten Gasspeicherstufe GS, der Öffnung des entsprechenden Ventils V_{GS-n} , der Messung der durchströmenden Gasmenge m und der permanenten Überwachung des Drucks p_{GFT} im Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtank beginnen bei jeder Umschaltung eines Gasspeichers von neuem.

[0152] Die Aufschaltung auf die nächste Druckstufe wird so lange wiederholt, bis entweder der Druck p_{GFT} im Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtank den Soll-Fülldruck (hier 198 bar) erreicht hat oder bis die höchste bzw. letzte Druckstufe angesteuert wurde (vgl. Ansprüche 1 und 6).

[0153] Die vorstehend beschriebene Prozedur zur Betankung mobiler Verbraucher wird ohne Nachbefüllung der Gasspeicheranlage der Gastankstelle solange mit jedem zu betankenden mobilen Verbraucher wiederholt, bis die Gasspeicheranlage der Gastankstelle soweit geleert ist, dass ein Druckgastank eines zu betankenden mobilen Verbrauchers nicht mehr vollständig befüllt werden kann (siehe Ansprüche 1 und 6). Das führt dazu, dass das geometrische Volumen der Gasspeicheranlage und die gespeicherte Verdichterarbeit optimal ausgenutzt werden können.

[0154] Die Zahl der Druckstufen (und folglich auch die Mindestzahl der parallel geschalteten Gasspeicherbehälter) kann zwei betragen, aber auch vier, sechs, acht, zehn, zwölf, sechzehn, zwanzig oder mehr (vgl. Ansprüche 1 und 6 sowie die Ansprüche 2 und 8).

[0155] Es kann vorteilhaft sein, insbesondere bei unterschiedlicher Größe und/oder unterschiedlichem Restdruckniveau der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtanks, bei der Betankung einzelne Druckstufen zu überspringen oder in einer anderen Reihenfolge anzusteuern (vgl. Ansprüche 3 und 9).

[0156] Für den Fall, dass der Soll-Fülldruck im Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugtank auch mit der höchsten Druckstufe nicht erreicht werden kann, generiert die (elektronische) Steuerungsanlage der Gastankstelle vor

der Beendigung des Betankungsvorgangs 1 bis x eine entsprechende Nachricht und schickt diese inklusive der Aufzeichnung der relevanten Betriebsparameter an die zentrale Überwachungsstelle, vorzugsweise als SMS und besonders vorzugsweise als E-Mail. Ferner setzt die Steuerungsanlage die Gastankstelle nach Beendigung des Betankungsvorgangs außer Betrieb (vgl. Figur 3 und Ansprüche 1 und 6).

[0157] Für den Fall, dass es im Druckgastank des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges bzw. in der Zuleitung bzw. im Zapfschlauch zu einem plötzlichen Druckverlust kommen sollte ($dm/dt > \text{Alarmwert } y$), schließt die Steuerungsanlage alle relevanten offenen Ventile der Betankungsanlage und löst einen Alarm aus (in Figur 3 nicht dargestellt).

[0158] Damit es möglichst nicht zum Fall einer unvollständigen Betankung eines Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges kommt, meldet die Steuerungsanlage die Betriebsdaten der Tochter-Stationen regelmäßig an die zentrale Überwachungsstelle (in Figur 3 nicht gezeigt). Dort kann bei der Unterschreitung bestimmter Betriebsdatengrenzen (z.B. bei Unterschreiten eines bestimmten Druckniveaus der höchsten Druckstufe) eine antizipatorische Auffüllung des Vorrats an Gaskraftstoff veranlasst werden.

[0159] Der Betankungsvorgang wird beendet, indem die elektronische Steuerungsanlage die aus den einzelnen Gasspeichern GS überströmten Gasmassen m addiert, den vom Endkunden zu zahlenden Preis berechnet, den Ausdruck eines entsprechenden Belegs veranlasst und indem sie den gesamte Betankungsvorgang mit seinen relevanten Betriebsparametern loggt.

[0160] Der Betankungsvorgang kann in für den/die Tankende(n) vorteilhafter Weise beschleunigt werden, wenn die Steuerungsanlage der Gastankstelle unmittelbar nach Beginn des Betankungsvorgangs diejenige Gasspeicherstufe GS bzw. denjenigen Gasbehälter ansteuert, die/der ein für eine unmittelbare Betankung ausreichendes Druckniveau aufweist (vgl. Ansprüche 1 und 6).

[0161] Ggf. beinhaltet die Aktion "Beginn des Betankungsvorgangs" die Freischaltung und/oder die Up Front-Bezahlung des Betankungsvorgangs über eine SMS oder über ein sogenanntes App. Das ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Betankungsvorgänge bargeldlos abgewickelt werden sollen.

[0162] Da die Kosten des Tankstellenbetriebes minimiert werden sollen, kann es insbesondere bei relativ kleinen Gastankstellen vorteilhaft sein, sie ohne Bedienungspersonal zu betreiben und/oder bestimmte Vorgänge elektronisch zu speichern und/oder an eine zentrale Stelle zu übermitteln.

[0163] Es kann von Vorteil für die Abrechnung und/oder für die Kundenbindung sein, die tankende Person vor einer Abgabe von Gaskraftstoff eine Tankkarte vorzeigen zu lassen oder, wenn es eine virtuelle Tankkarte bzw. eine Mitgliedschaft in einem Club oder in einer Organisation ist, diese benennen zu lassen oder diese

mit einem elektronischen Lesegerät zu erfassen.

[0164] Wenn die Tankkarte einen integrierten Schaltkreis (IC; Chip) aufweist, der Daten enthält, mit denen sich der Nutzer des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs ggü. dem Gastankstellenbetreiber ausweisen kann und/oder mit denen das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug eindeutig identifiziert werden kann, kann die Erfassung und Abrechnung der Betankungsvorgänge in vorteilhafter Weise automatisiert werden, was den technischen und ökonomischen Aufwand ggü. anderen Formen der Erfassung und Abrechnung reduziert.

[0165] Wenn an dem zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug ein integrierter Schaltkreis (IC; Chip) angebracht ist, der vor und/oder nach dem Betankungsvorgang berührungslos Daten, insbesondere die Identnummer des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges und/oder des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugnutzers an ein elektronisches Lesegerät der Gastankstelle übermittelt, kann die Betankung ohne großes Zutun des Fahrers des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges erfasst und abgerechnet werden, was vorteilhaft sowohl für den Fahrer als auch für den Betreiber der Gastankstelle sein kann.

[0166] Von besonderem Vorteil ist es, wenn das elektronische Lesegerät der Gastankstelle am Zapfhahn der Zapfsäule oder an der Zapfsäule angebracht ist, der Fahrer des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs muss nur noch tanken, der gesamte Erfassungsvorgang ist dann automatisiert.

[0167] Der spezifische technische und ökonomische Aufwand für die physische Distribution des mindestens einen Gaskraftstoffes kann in vorteilhafter Weise dadurch gemindert werden, dass nicht nur innovative, THG-reduzierte Gaskraftstoffe von den zellenspezifischen Tankstellen abgegeben werden, sondern auch Erdgas (CNG) und/ oder aus Windstrom und atmosphärischem CO₂ erzeugtes SynMethan, denn der anfallende Aufwand verteilt sich dann auf eine größere Absatzmenge, was den spezifischen Aufwand reduziert.

[0168] Vorteilhaft kann auch die Sammlung der vorzugsweise elektronischen Belege einzelner Betankungsvorgänge durch die Endkunden sein und/oder durch den mindestens einen Betreiber von Gastankstellen zu dem Zweck, eine bestimmte Gasmenge einer bestimmten Qualität in das nationale oder internationale Erdgasnetz einzuspeisen, um die vorherige Entnahme von Erdgas oder einem Erdgasäquivalent zu kompensieren. So kann z.B. die energetische Gasmenge eines treibhausgasreduzierten, vorzugsweise eines treibhausgasfreien und besonders vorzugsweise eines treibhausgasnegativen Gases in das Erdgasnetz eingespeist werden, die die Mitglieder einer bestimmte Endkundengruppe, vorzugsweise die Mitglieder eines Clubs oder einer Organisation, zuvor getankt und als Gaskraftstoff verbraucht haben.

[0169] Generell ist es vorteilhaft, Betriebsparameter der Gastankstelle und/oder zusätzliche Daten wie Ser-

vicelaufzeit und Lastwechsel am Gasspeicher elektronisch abzurufen oder die elektronische Tankstellensteuerung so zu programmieren, dass diese die relevanten Daten selbständig meldet, vorzugsweise über das Telefon-Festnetz und besonders vorzugsweise über das Mobilfunk-Telefonnetz.

[0170] Ebenfalls ist es vorteilhaft, insbesondere bei einem bedienerlosen (personallosen) Betrieb der Gastankstelle, wenn ein Ferndiagnose- und Wartungssystem eingesetzt wird, vorzugsweise ein interaktives Ferndiagnose- und Wartungssystem.

[0171] Für die Schaffung einer möglichst großen Absatzmenge und demzufolge für die Erzielung eines möglichst geringen spezifischen technischen und ökonomischen Aufwands ist es ebenfalls von Vorteil, wenn die Endkunden die Standorte und/ oder die Koordinaten und/oder den Betriebszustand und/oder die Verfügbarkeit des mindestens einen Gaskraftstoffes der mindestens einen Gastankstelle aus dem Internet abrufen können, vorzugsweise über Smartphones oder über Navigationsgeräte.

[0172] Wie eingangs erläutert wurde, ist es für die Reduzierung des technischen Aufwands von Vorteil, insbesondere hinsichtlich des Verschleißes und des Energieeinsatzes, bei der Verdichtung der Gaskraftstoffe in der Mutter-Station mehrstufige Verdichtungsanlagen zu nutzen.

[0173] Der anteilige apparative und ökonomische Aufwand kann reduziert werden, wenn die Verdichtungsanlage der Mutter-Station nicht nur als Kompressionsanlage für die Versorgung der Tochter-Stationen, sondern auch als Tankstelle für die Betankung von Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugen genutzt wird, vorzugsweise für die Betankung von gasbetriebenen Fahrzeugflotten, besonders vorzugsweise für die Betankung von leichten, mittelschweren und schweren CNG-Nutzfahrzeugen und insbesondere für die Betankung von gasbetriebenen Speditionsfahrzeugen und/oder gasbetriebenen Fahrzeugen von Paketdiensten und/oder Bussen mit Gasantrieb.

[0174] Für die Betreiber von Gastankstellen kann es von ökonomischem Vorteil (Verteilung des technischen Aufwands auf eine größere Verrechnungsbasis mit dem Ziel der Senkung des spezifischen Aufwands) sein, wenn sie nicht nur gasförmige Kraftstoffe abgeben, sondern auch Flüssigkraftstoffe.

[0175] Die abgegebenen Gaskraftstoffe sind umso attraktiver für die tankenden Fahrer der Gas- und/oder Mehrkraftstofffahrzeuge, wenn sie möglichst wenig mit Treibhausgasemissionen belastet sind. Da im Rahmen der Life Cycle Analysis LCA auch die bei der Betankung entstehenden Treibhausgasemissionen Berücksichtigung finden, ist es für die Betreiber von Gastankstellen von Vorteil, wenn zum Betrieb der Betankungstechnik THG-reduzierte Energien bzw. Energieträger einsetzen, vorzugsweise THG-freie Energien bzw. Energieträger und besonders vorzugsweise THG-negative Energien bzw. Energieträger.

[0176] Um sich vom Wettbewerb abzugrenzen kann es für die Betreiber von Gastankstellen von Vorteil sein, nicht den Standardzapfhahn zu verwenden, sondern eine eigene, proprietäre Zapfhahnform. Dies bedingt natürlich auch eine eigene, proprietäre Form der Zapfstutzen der Gas- und/oder Mehrkraftstofffahrzeuge.

[0177] Um sich vom Wettbewerb abzugrenzen kann es für die Betreiber des aus Gasfahrzeug, Gaskraftstoff, Tankstelle und Tankkarte bestehenden Gesamtsystems von Vorteil sein, die zur Betankung zur Gastankstelle kommenden Gasfahrzeuge in spezieller Weise zu kennzeichnen.

[0178] Obgleich in der vorhergehenden Beschreibung und in den Zeichnungen ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel aufgezeigt und detailliert beschrieben ist, sollte dies als rein beispielhaft und die Erfindung nicht einschränkend angesehen werden. Es wird hiermit explizit darauf hingewiesen, dass nur das bevorzugte Ausführungsbeispiel dargestellt und beschrieben wurde und sämtliche Veränderungen und Modifizierungen, die derzeit und zukünftig im Schutzzumfang der Erfindung liegen, geschützt werden sollen.

Patentansprüche

- Verfahren zum Betrieb einer gasförmigen Gaskraftstoff, insbesondere Erdgas oder ein Erdgas-Substitut, an mobile Verbraucher abgebenden Gastankstelle (Betankungsanlage), deren Gasspeicheranlage über eine Mehrzahl parallel geschalteter Druckstufen bzw. Speichertanks verfügt, vorzugsweise über mindestens 3 Druckstufen bzw. Speichertanks, besonders vorzugsweise über mindestens 6 Druckstufen bzw. Speichertanks und insbesondere über mindestens 12 Druckstufen bzw. Speichertanks, bei dem bei einem Betankungsvorgang die Entleerung der Gasspeicheranlage der Gastankstelle kaskadenartig erfolgt, auf jeder Druckstufe der installierten Gasspeicheranlage mittels geeigneter Drucksensoren der jeweils herrschende Druck gemessen wird, damit nach einer ersten Messung des noch vorhandenen Fülldrucks im Druckgastank des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges zu Beginn des Betankungsvorgangs gezielt diejenige Druckstufe bzw. derjenige Speichertank zur ersten Entleerung angesteuert werden kann, deren bzw. dessen Druck in erster Bedingung höher ist als der noch im Druckgastank des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges vorhandene Rest-Fülldruck aber in zweiter Bedingung niedriger als der Druck aller anderen Druckstufen bzw. Speichertanks der Gasspeicheranlage, deren Druckwerte die erste Bedingung erfüllen, wobei nach der Befüllung der Gasspeicheranlage der Gastankstelle mit Gaskraftstoff in einem ersten Schritt

zunächst mindestens ein Gasspeichertank der die vorstehenden Bedingungen erfüllenden niedrigsten Druckstufe 1 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen den beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 1 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher für den Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, für den Fall, dass im ersten Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende zweitniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem zweiten Schritt mindestens ein Gasspeichertank der Druckstufe 2 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 2 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, für den Fall, dass im zweiten Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende drittniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem dritten Schritt mindestens ein Gasspeichertank der Druckstufe 3 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 3 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, für den Fall, dass im dritten Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende viertniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem vierten Schritt mindestens ein Gasspeichertank der Druckstufe 4 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeicher-

tanks der Druckstufe 4 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass im vierten Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende fünftniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem fünften Schritt mindestens ein Gasspeichertank der fünftniedrigsten Druckstufe 5 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 5 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass im fünften Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende sechsniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem sechsten Schritt mindestens ein Gasspeichertank der sechsniedrigsten Druckstufe 6 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 6 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass im sechsten Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende siebten Druckstufe vorhanden ist, in einem siebten Schritt mindestens ein Gasspeichertank der siebten Druckstufe 7 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 7 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der ge-

wünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass im siebten Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende achtniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem achten Schritt mindestens ein Gasspeichertank der achtniedrigsten Druckstufe 8 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 8 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass im achten Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende neuntniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem neunten Schritt mindestens ein Gasspeichertank der neuntniedrigsten Druckstufe 9 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen

beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 9 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass im neunten Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende zehntniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem zehnten Schritt mindestens ein Gasspeichertank der zehntniedrigsten Druckstufe 10 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 10 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass im zehnten Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehr-

- kraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende elftniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem elften Schritt mindestens ein Gasspeichertank der elft-niedrigsten Druckstufe 11 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 11 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, für den Fall, dass im elften Schritt der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende zwölfniedrigste Druckstufe vorhanden ist, in einem zwölften Schritt mindestens ein Gasspeichertank der zwölfniedrigsten Druckstufe 12 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges geschaltet wird, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern dieses Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 12 geschlossen wird und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet wird, dass im Druckgastank des ersten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, und wobei mit den Druckgastanks der nächsten zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge sodann ohne zwischenzeitliche Nachbefüllung des Gasspeichers der Gastankstelle in einer ggf. mehrfachen Wiederholung der Schritte 1 bis 12 solange so verfahren wird wie mit dem Druckgastank des ersten betankten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges bis der Druckgastank eines zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges nicht mehr vollständig befüllt werden kann.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Druckstufen des Anspruchs 1 bei gleicher Vorgehensweise um mindestens eine weitere Druckstufe ergänzt werden, vorzugsweise um mindestens zwei weitere Druckstufen, besonders vorzugsweise um mindestens vier weitere Druckstufen und insbesondere um mindestens acht weitere Druckstufen.
 3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem maximal 10 Druckstufen durchlaufen werden, vorzugsweise maximal 8 Druckstufen, besonders vorzugsweise maximal 4 Druckstufen und insbesondere maximal 2 Druckstufen oder bei dem einzelne Druckstufen ausgelassen oder in einer anderen Reihenfolge durchlaufen werden oder bei dem die Betankung eines Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges vor Erreichen des Soll-Fülldrucks abgebrochen wird.
 4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Gastankstelle (Betankungsanlage) eine verdichterlose Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems ist oder eine mit einem Verdichter (Kompressor) ausgestattete Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem das gesamte geometrische Volumen der Gasspeicheranlage weniger als 10.000 (zehntausend) Liter beträgt, vorzugsweise weniger als 5.000 (fünftausend) Liter, besonders vorzugsweise weniger als 2.500 (zweitausendfünfhundert) Liter und insbesondere weniger als 1.000 (eintausend) Liter und/oder bei dem mindestens ein Speichertank (eine Druckgasflasche) der Gasspeicheranlage mit einem anfänglichen Fülldruck von mindestens 225 bar druckbeaufschlagt wird, vorzugsweise mit einem Fülldruck von mindestens 245 bar, besonders vorzugsweise mit einem Fülldruck von mindestens 295 bar und insbesondere mit einem Fülldruck von größer als 315 bar.
 6. Gastankstelle zur Durchführung des Verfahrens zur Betankung mobiler Verbraucher gemäß Anspruch 1, insbesondere zur Betankung von Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugen mit mindestens einem gasförmigen Gaskraftstoff, umfassend eine Gasspeicheranlage mit einer Mehrzahl parallel geschalteter Druckstufen bzw. Speichertanks, vorzugsweise mit mindestens 3 Druckstufen bzw. Speichertanks, besonders vorzugsweise mit mindestens 6 Druckstufen bzw. Speichertanks und insbesondere mit mindestens 12 Druckstufen bzw. Speichertanks, deren Entleerung bei einem Betankungsvorgang kaskadenartig erfolgt, Absperrventile auf jeder Druckstufe der Gasspeicheranlage, geeignete Drucksensoren auf jeder Druckstufe der Gasspeicheranlage, die den jeweils herrschenden Druck messen, mindestens einen Drucksensor, der geeignet ist, den Fülldruck des Druckgastanks des mobilen Verbrauchers zu messen, eine hochdruckbeständige Verbindungsleitung mit Kupplung (Zapfpistole), mit der eine Verbindung zwischen der Gasspeicheranlage der Gastankstelle und dem Druckgastank des mobilen Verbrauchers hergestellt werden kann, ein Steuerungs- und Regelsystem, das nach einer ersten Messung des noch vorhandenen Fülldrucks im Druckgastank des mobilen Verbrauchers zu Beginn des Betankungsvorgangs gezielt diejenige

Druckstufe bzw. derjenige Speichertank zur ersten Entleerung ansteuern kann, deren bzw. dessen Druck in erster Bedingung höher ist als der noch im Druckgastank des mobilen Verbrauchers vorhandene Rest-Fülldruck aber in zweiter Bedingung niedriger als der Druck aller anderen Druckstufen bzw. Speichertanks der Gasspeicheranlage, deren Druckwerte die erste Bedingung erfüllen,

dadurch gekennzeichnet dass

nach der Befüllung der Gasspeicheranlage der Gastankstelle mit Gaskraftstoff und nach Herstellung einer Verbindung zwischen der Gasspeicheranlage der Gastankstelle und dem Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der die vorstehenden Bedingungen erfüllenden niedrigsten Druckstufe 1 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden mobilen Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen den beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 1 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher für den Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende zweitniedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der zweitniedrigsten Druckstufe 2 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden mobilen Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 2 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende drittniedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der drittniedrigsten Druckstufe 3 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden mobilen Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 3 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann,

dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende viertniedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der viertniedrigsten Druckstufe 4 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden mobilen Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 4 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende fünftniedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der fünftniedrigsten Druckstufe 5 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden mobilen Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 5 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende sechsniedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der sechsniedrigsten Druckstufe 6 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden mobilen Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 6 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist,

für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Be-

dingungen erfüllende siebt niedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der siebt niedrigsten Druckstufe 7 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden mobilen Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 7 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende elft niedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der achtniedrigsten Druckstufe 8 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden mobilen Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 8 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende neunt niedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der neunt niedrigsten Druckstufe 9 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden mobilen Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 9 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende zehnt niedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der zehnt niedrigsten Druckstufe 10 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Mobilien Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeicher-

tanks der Druckstufe 10 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende elft niedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der elft niedrigsten Druckstufe 11 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Mobilien Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 11 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, für den Fall, dass bis dahin der Soll-Fülldruck im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers noch nicht erreicht wurde und in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle eine die vorstehenden Bedingungen erfüllende zwölf niedrigste Druckstufe vorhanden ist, mindestens ein Gasspeichertank (Druckgasflasche) der zwölf niedrigsten Druckstufe 12 auf den Druckgastank des ersten zu betankenden Mobilien Verbrauchers geschaltet werden kann, nach einem Druckausgleich zwischen diesen beiden Gasbehältern das Absperrventil des Gasspeichertanks der Druckstufe 12 geschlossen werden kann und dieses Absperrventil bereits vorher in dem Fall geschlossen und der Betankungsvorgang beendet werden kann, dass im Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers der gewünschte Soll-Fülldruck (von beispielsweise 200 bar) erreicht ist, wobei

die Druckgastanks der nächsten zu betankenden mobilen Verbraucher sodann ohne zwischenzeitliche Nachbefüllung des Gasspeichers der Gastankstelle in einer ggf. mehrfachen Wiederholung der Aufschaltungsreihenfolge solange so betankt werden können wie der Druckgastank des ersten mobilen Verbrauchers, bis der Druckgastank eines zu betankenden mobilen Verbrauchers nicht mehr vollständig befüllt werden kann.

7. Gastankstelle nach Anspruch 6, die aus einer verdichterlosen Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems besteht und die nicht über einen Ausspeisepunkt direkt an das nationale oder internationale Erdgasnetz angebunden ist.
8. Gastankstelle nach einem der Ansprüche 6 und 7,

deren Druckstufen der Gasspeicheranlage mindestens eine weitere Druckstufe (Speichertank) aufweist, vorzugsweise mindestens zwei weiteren Druckstufen (Speichertanks), besonders vorzugsweise mindestens vier weitere Druckstufen (Speichertanks) und insbesondere mindestens acht weitere Druckstufen (Speichertanks).

- 5
9. Gastankstelle nach einem der Ansprüche 6 und 7, deren Gasspeicheranlage maximal 10 Druckstufen aufweist, vorzugsweise maximal 6 Druckstufen, besonders vorzugsweise maximal 3 Druckstufen oder bei der die Schaltung zur Entleerung der einzelnen Druckstufen so erfolgen kann, dass einzelne Druckstufen ausgelassen werden können oder in einer anderen Reihenfolge durchlaufen werden als im Anspruch 6 angegeben oder bei der die Betankung eines mobilen Verbrauchers vor Erreichen des Soll-Fülldrucks im Druckgastank des mobilen Verbrauchers abgebrochen wird.
- 10
- 15
- 20
10. Gastankstelle nach einem der Ansprüche 6 bis 9, bei der das gesamte geometrische Volumen der Gasspeicheranlage weniger als 10.000 (zehntausend) Liter beträgt, vorzugsweise weniger als 5.000 (fünftausend) Liter, besonders vorzugsweise weniger als 2.500 (zweitausendfünfhundert) Liter und insbesondere weniger als 1.000 (eintausend) Liter und/oder bei der mindestens eine Speichertank (eine Druckgasflasche) der Gasspeicheranlage mit einem anfänglichen Fülldruck von mindestens 225 bar druckbeaufschlagbar ist, vorzugsweise mit einem anfänglichen Fülldruck von mindestens 245 bar, besonders vorzugsweise mit einem anfänglichen Fülldruck von mindestens 295 bar und insbesondere mit einem anfänglichen Fülldruck von größer als 315 bar.
- 25
- 30
- 35

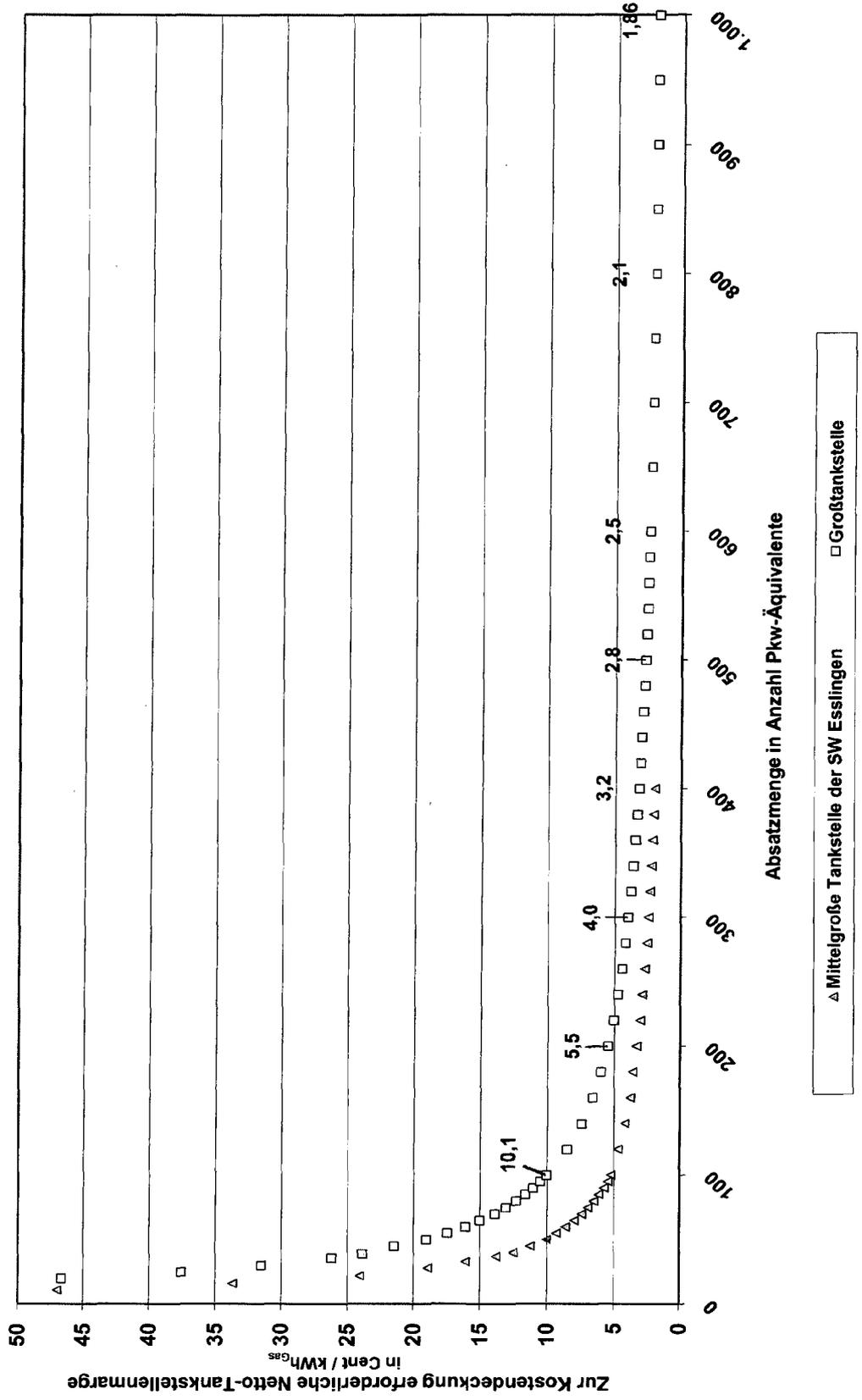
40

45

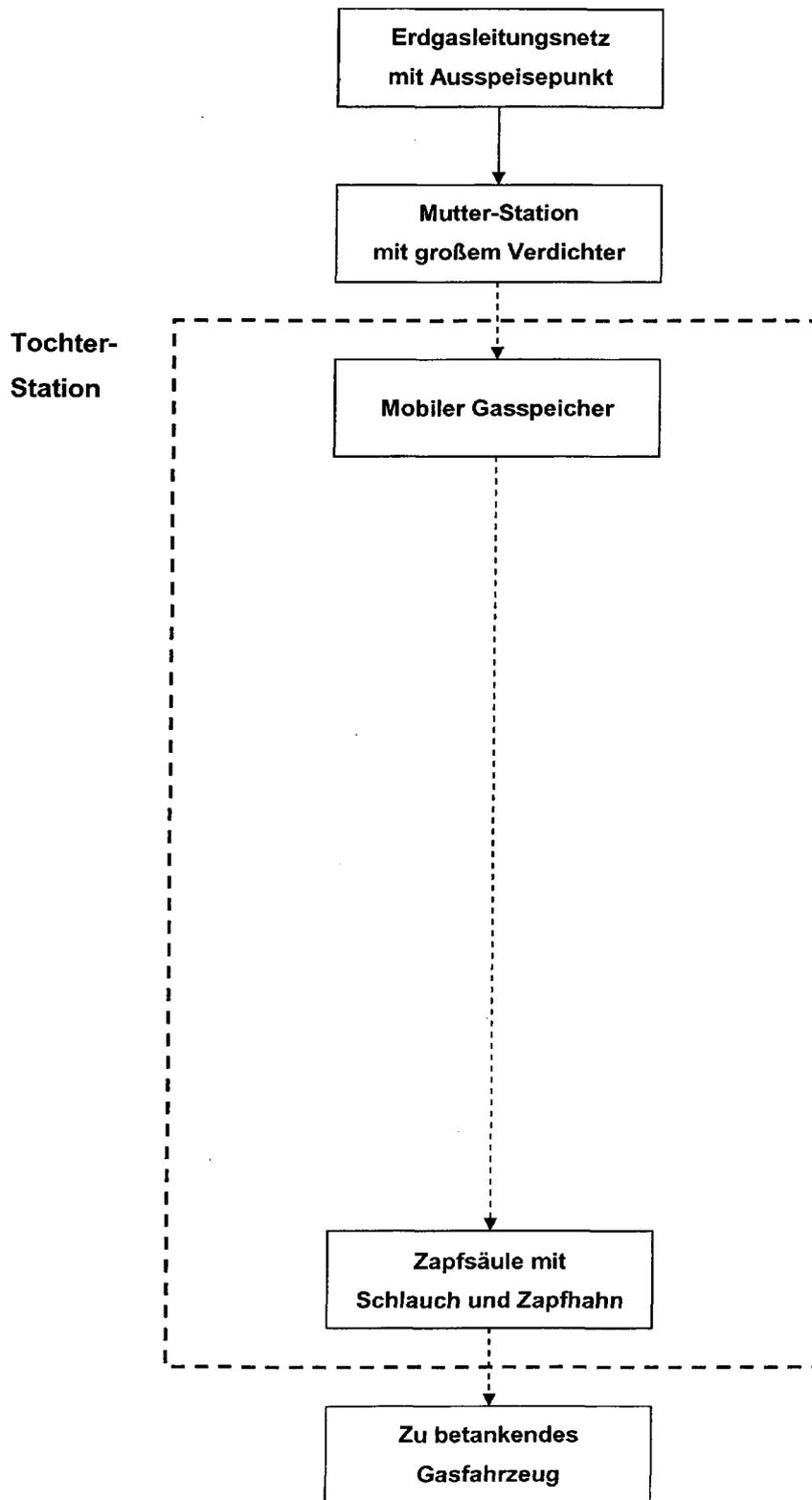
50

55

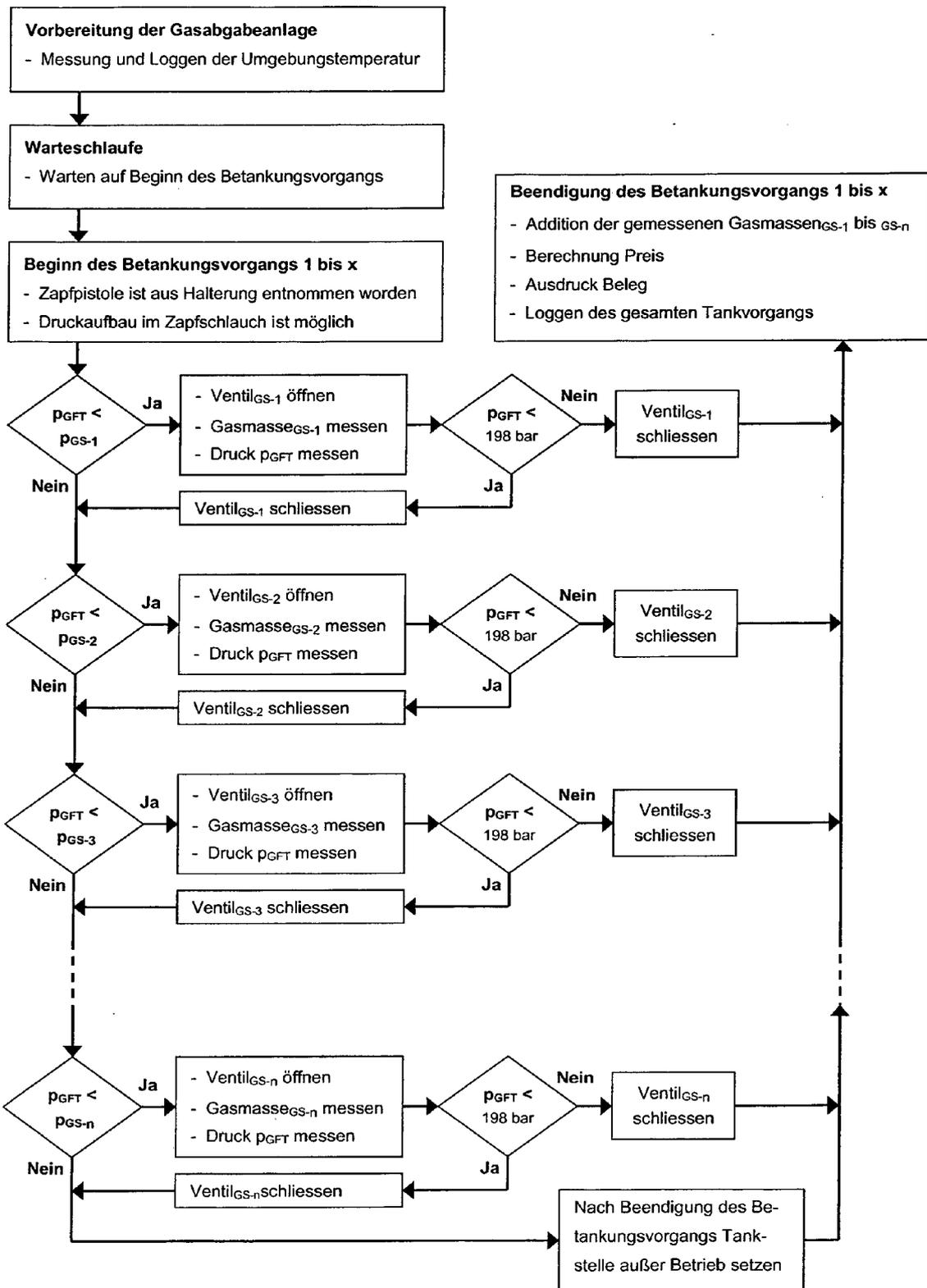
FIGUR 1



Figur 2



Figur 3



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0653585 A1 [0010] [0049] [0106]
- EP 0995943 A2 [0010] [0106]
- DE 19730459 A1 [0010] [0106]
- DD 282351 A7 [0010] [0106]
- EP 1559949 A1 [0010] [0093] [0106]
- DE 19650999 C1 [0022] [0023] [0025] [0077] [0086] [0106] [0111]
- WO 9300264 A [0049] [0106]
- DE 19933791 A1 [0050] [0106]
- EP 0356377 A [0051] [0106]
- DE 60318083 T2 [0052] [0106]
- WO 2004031643 A [0052] [0106]
- DE 6038083 T2 [0052]
- DE 000020213688 U1 [0065] [0106]
- DE 000020309846 U1 [0065] [0106]
- DE 10206502 C1 [0072] [0106]
- DE 19916385 C2 [0078] [0081] [0106]
- DD 115528 A1 [0078] [0081] [0106]
- DE 915696 [0079]
- DE 102007049458 A1 [0080] [0081] [0106]
- DE 102004063071 A1 [0081]
- DE 10107187 A1 [0091] [0106]
- DE 29816811 U1 [0092] [0106]
- DE 102008007928 A1 [0094] [0106]
- DE 102004026728 A1 [0095] [0106]
- US 265096 A [0106]
- DE 102010017818 A1 [0133] [0135]
- WO 2011101137 A1 [0133] [0135]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- *Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix - Handlungsbedarf und Lösungen für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr*, Januar 2010 [0098]
- Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix - Handlungsbedarf und Lösungen für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr. *Aktualisierte Fassung*, September 2011 [0098]
- **RILLING**. Kosten und Preise bei Erdgastankstellen. 2005, 6 [0140]