



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
29.07.2015 Patentblatt 2015/31

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

(21) Anmeldenummer: **15000123.8**

(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)

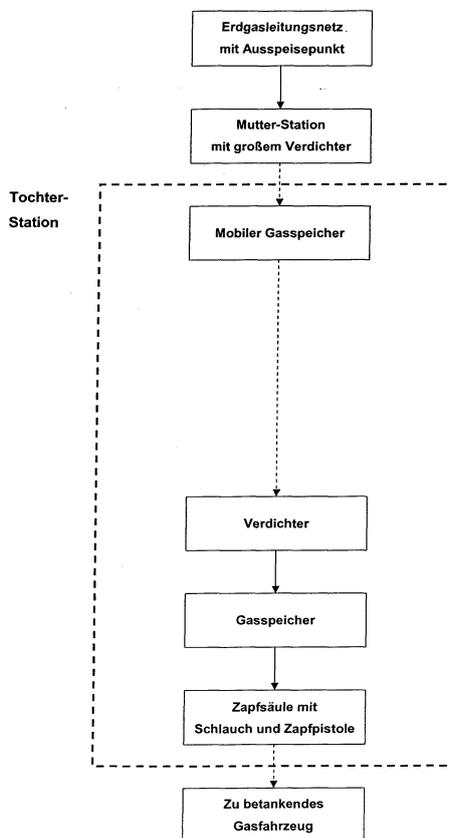
(30) Priorität: **20.01.2014 DE 102014000706**

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

(54) **Verfahren und Anlagenkonfiguration zum dynamisierten Aufbau einer Gastankstellen-Infrastruktur**

(57) Die hier offenbarte Erfindung betrifft ein Verfahren und diverse Anlagenkonfigurationen zum flächendeckenden Aufbau einer Gastankstellen-Infrastruktur.

Figur 05



Beschreibung

Hintergrund

[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 zwar rd. 95.000 Automobile, im Vergleich zum deutschen Gesamtbestand von über 50 Mio. Fahrzeugen sind das jedoch nur rd. 0,2%. 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 deut-

schen 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 Dieselmotoren 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 mit Erdgas mindestens rd. 5.000 CNG-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 nationalen 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 in nicht-kommunalem Betrieb würde deren Kundschaft ceteris paribus 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 Dieseldieselkraftstoff bedingt der Einsatz von Erdgas als Kraftstoff eine Speicherung des Gaskraftstoffes an Bord des CNG-Fahrzeuges in einem hochdruckbeaufschlagten Gastank und nicht wie bei Benzin- und Dieseldiesel-Fahrzeugen in einem drucklosen Flüssigkeitstank. Die hohe Druckbeaufschlagung erfordert vollkommen andere Tankstellenkonzepte als es sie für Flüssigkraftstoffe gibt. Während Flüssiggas, Benzin und Dieseldieselkraftstoff bei der Betankung wie andere flüssige Kraftstoffe in relativ kurzer Zeit unter identischen Druckverhältnissen von einem Speichertank in den (mobilen) Flüssigastank 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 Betankungs-

zeit lösen, EP1559 949A1 insbesondere für Fahrzeuge mit großen Gastanks (Tanks von CNG-Bussen 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 mobilen Verbraucher (z.B. 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, ansonsten kommt es nicht zum Überströmen des Gases aus dem Gasspeicher der Gastankstelle in den Druckgastank des mobilen Verbrauchers. 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 und mit der Arbeit der Verbrauch an elektrischer Energie (die Verdichter werden üblicherweise elektrisch angetrieben). 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 Druckgastank 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 Kompressorentchnik Skaleneffekten unterliegt und der spezifische, auf einen Nm^3 Gas bezogene Energieaufwand mit zunehmender Verdichtergröße abnimmt, weisen die üblicherweise elektrisch betriebenen großen Tankstellen-Kompressoren mit einer Kapazität von bis zu $3.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 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 $100 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 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 Druckgastanks der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge. 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 Gasoder Mehrkraftstofffahrzeuges zwischengelagert. Üblicherweise besteht der stationäre Gasspeicher der Gastankstelle 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 Gasoder Mehrkraftstofffahrzeuges kann so in einer sehr kurzen Zeitspanne erfolgen.

[0019] Der Gaskraftstoff wird i.d.R. über eine Zapfsäule mittels eines flexiblen Betankungsschlauches und ei-

ner Zapfpistole (Zapfhahn) an den Druckgastank des Gasoder Mehrkraftstofffahrzeuges 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 elektronischen Tankstellensteuerung gesteuert, geregelt und überwacht.

[0022] Das verdichtete Gas wird in der Gasspeicheranlage der Gastankstelle in mindestens einem 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 Gasoder Mehrkraftstofffahrzeug wird das auf bis zu 200 bar verdichtete gasförmige (Erd-)Gas aus dem Druckgastank des Fahrzeugs üblicherweise über ein Druckminderungsventil und über ein Gemischregelungsmodul zu den Zylindern des Verbrennungsmotors geführt. Dort wird es wie bei der Benzin- bzw. Dieseltechnik 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 DE19650999C1).

[0024] Am Anfang des Befüllungsvorgangs haben bei dieser Entwicklung alle drei Gasspeicher den selben Befülldruck, der zwar erheblich über dem Soll-Fülldruck 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 Druckausgleich 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 Gasdrucktanks (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 Befüllungstechnik (Zapfsäule mit Befüllungsschlauch, Zapfpistole und Zapfhahn), 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, an das Erdgasleitungsnetz sowie an das Starkstromnetz angebunden 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 und einer üblichen Betriebszeit von 12 h/d 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 m³ x 250 bar x 1/0,90 = rd. 622 m³ Gas und damit rd. 6.220 kWh_{H₂} 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 m³_{Gas} (1.117 kWh_{H₂}) und mit Berücksichtigung dieses Faktors zu einer Gasmengendifferenz von rd. 124 m³_{Gas} (1.240 kWh_{H₂}). 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 kWh_{H₂} 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 m³_{Gas}/h (s.o.) in der Zeit von 1 Stunde rd. 103 m³ auf einen Druck von 250 bar nachladen. Bei Berücksichtigung des Kompressibilitätsfaktors Z für Methan erhöht sich diese Menge auf 114 m³, so dass bei dieser Verdichterleistung und einer gefüllten Speicherbank mit einem geometrischen Volumen von 2.240 Litern in einer (Spitzenlast-)Stunde insgesamt 124 m³ + 114 m³ = 238 m³ für die Betankung von Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugen zur Verfügung stehen, was 2.380 kWh_{H₂} 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 Speicherbankvolumen von 2.240 Litern unter Berücksichtigung des methanspezifischen Kompressibilitätsfaktors rd. 723 Nm³ 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 ohne Inbetriebnahme des Verdichters unmittelbar hintereinander rd. 13 vollständige Pkw-Betankungen durchzuführen. Dabei geht jedoch die Verdichterarbeit für die Druckdifferenz zwischen dem Fülldruck von 300 bar und dem Soll-Fülldruck in Höhe von 200 bar der Druckgastanks der zu befüllenden Fahrzeuge verloren.

[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 Verdichtungsleistung ohne Berücksichtigung der Bustankstellen aktuell auf 103 Nm³/h bei einer gegebenen Bandbreite von 15 Nm³/h bis 288 Nm³/h.

[0039] Alle Gastankstellen weisen einen Verdichter auf. Die kleinsten der von Schwelm errichteten Gastankstellen sind 3 Tankstellen mit einer Verdichtungsleistung von 15 Nm³/h, 2 Tankstellen mit einer Verdichtungsleistung von 20 Nm³/h und je 1 Tankstelle mit einer Verdichtungsleistung von 25 Nm³/h, 26,5 Nm³/h, 27 Nm³/h, 30 Nm³/h und 33 Nm³/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 Nm³/h. Dieser Durchschnittswert für Neuaninstallationen stieg weiter über 77 Nm³/h in 2003, 107 Nm³/h in 2004, 113 Nm³/h in 2005, 121 Nm³/h in 2006 und 119 Nm³/h in 2007 auf 126 Nm³/h in 2008, 129 Nm³/h in 2009 und 134 Nm³/h in 2010. Nur eine einzige der nach 2001 vom Marktführer Schwelm errichteten Gastankstellen hatte mit 25 Nm³/h eine geringere Verdichtungsleistung als 35 Nm³/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 Nm³/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 Nm³ 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. M.a.W., hoher apparativer Aufwand steht ungenutzt herum.

[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 $560.000 \text{ kWh}_{\text{HI}}$ bzw. von $1.533.000 \text{ kWh}_{\text{HI}}$ bzw. von $1.387.000 \text{ kWh}_{\text{HI}}$ 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 $80 - 150 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 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 neu-

en 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 $3.000.000 \text{ kWh}_{\text{Gas}}$ 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_{H₂} 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_{H₂}. 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 (SulzerBurckhardt 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 Fuemaker 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 aber weder den dynamischen Aufbau noch den Ausbau einzelner Gastankstellen-Standortes noch den Auf- und Ausbau einer ganzen Gastankstellen-Infrastruktur.

[0051] Den Gastankstellentyp 2 bilden die nichtöffent-

lichen 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 Fuemaker 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 Fuemaker 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 Verdichtungsleistung 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 oder einen bereits teilentleerten Fahrzeugtank zu befüllen. 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. $0,06 \text{ kWh}_{\text{el}} / \text{kWh}_{\text{Gas}}$. 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. $8.000 \text{ kWh}_{\text{CNG}} / \text{Pkw} / \text{a}$) 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 Fuelmaker die Kompressormodelle FMQ-2, FMQ-2.5 und FMQ-2-36 an, die i.d.R. ebenfalls ohne Speicher arbeiten, aber mit $2,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bis $4,3 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (im effektiven Durchschnitt $3,4 \text{ Nm}^3/\text{h}$) über eine höhere Verdichtungsleistung verfügt.

[0057] Offenbar überwiegen bei diesem Gastankstellentyp die Nachteile, denn bis auf einige wenige Test- bzw. Demonstrations-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 Betriebs- 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 Verdichtungskapazität 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 Fuelmaker, nämlich die FMQ-2, FMQ-2.5 und die FMQ-2-36, sowie die großen FMQ-Modelle des Herstellers BRC Fuelmaker, nämlich die FMQ-10 und FMQ-8-36 ($10,3 \text{ Nm}^3 \text{ Gas/h}$ bis $17,0 \text{ m}^3 \text{ Gas/h}$), sowie die Zapfstelle FP 1-M/TA des Herstellers Bauer-Kompressoren in Verbindung mit dem kleinen Verdichter 120 - 5,5 ($12,6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ - $16,9 \text{ Nm}^3/\text{h}$) 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 Betriebs- bzw. 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. Deren Größe richtet sich nach der Anzahl der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge, die innerhalb der Zeit zur Betankung vorfahren,

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 Fuelmaker 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 Fuelmaker 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 quasi-mobile 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 sind gleichwohl immer noch Anbindungen an das Erdgasleitungsnetz und an das Starkstromnetz 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 - aber 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. Für Gastankstellen-Standorte mit einer nachfrage von beispielsweise 25 Pkw-Äquivalenten bedeutet die Aufstellung einer Shark-Gastankstelle eine viel zu große Betankungskapazität, die nur zu einem Fünftel ausgenutzt würde und angesichts der in Deutschland gegebenen Rahmenbedingungen auch für

Betreiber dieser Gastankstellentechnik zu Verlusten führen würde.

[0067] Der besondere Vorteil dieses Typs 5 besteht in der Mobilität dieser Tankstelle. Bis auf die Anschlüsse an das Erdgasleitungsnetz und das Stromleitungsnetz sind alle Module und Komponenten der Gastankstelle in einer einzigen Betoneinhausung integriert. Die Tankstelle kann nach Kappung der Netzanschlüsse quasi auf einen Haken genommen, per Lkw woanders hin transportiert werden und dort nach Anbindung an das lokale Erdgasleitungsnetz und an das lokale Stromleitungsnetz 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 Erdgasleitungsnetz 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-Stations-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 in Deutschland bei dem Betrieb von regulären Tankstellen bisher 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 den apparativen Aufwand ggü. dem Gastankstellentyp 6a nochmals erhöhen. Sie können nach entsprechender Booster-Befüllung eine, zwei, teilweise auch bis zu vier Druckstufen aufweisen. Die Zahl der Druckstufen richtet sich nach der Kapazität des Boosters, die Boosterkapazität wiederum richtet sich nach dem (noch) im mobilen (Vor-)Speicher enthaltenen Gasdruck. Zweck des mehrstufigen Betriebs der Gasspeicheranlage ist auch hier 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 und DE19650999C1 einen Doppel-Booster aufweist und der Gastankstellentyp 6b lediglich einen Einfach-Booster. Der italienische Hersteller BRC Fuelmaker bietet einen Booster an, der mit einer Stromaufnahme von 15 - 18 kW_{el} typischerweise zwischen 100 Nm³/h (Input-Druck 30 bar) und 1.000 Nm³/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 (BVARAL AG; Anmeldung am 31.05.1944, Bekanntmachung am 24.12.1953, Veröffentlichung am 16.06.1954) beschreibt eine Betankung von Kraftfahrzeugen mit Gas-kraftstoff 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 mo-

bilen 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 Teilmolumenten 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] 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.

[0082] Da Deutschland mit einem sehr dichten Erdgasnetz versehen ist, sind derartige, vom Erdgasnetz unabhängigen Tochter-Stationen hier weder installiert noch in Betrieb.

[0083] 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.

[0084] 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.

[0085] 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.

[0086] 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.biogasmx.eu/media/4t2_biogasmx_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 Tochterstation 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.

[0087] 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.

[0088] 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. Hoch-

druck-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.

[0089] 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.

[0090] 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 erfindungsgemäße Verfahren oder die erfindungsgemäße Anlage zur optimierten Abgabe gasförmiger Gaskraftstoffe aus verdichterlosen Speicherbänken an mobile Verbraucher.

[0091] 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. DE29816811 U1 lehrt aber weder den dynamischen Auf- und Ausbau eines einzelnen Gastankstellen-Standortes noch den Auf- und Ausbau einer ganzen Gastankstellen-Infrastruktur.

[0092] EP1559949A1 (Gavenco AB) beschreibt ein Verfahren und ein System zur Betankung von Gasfahrzeugen und eine Neukonstruktion für einen in Gasfahrzeugen einzubauenden Gastank, jedoch nicht den dynamischen Auf- und Ausbau eines einzelnen Gastankstellen-Standortes und auch nicht den Auf- und Ausbau einer ganzen Gastankstellen-Infrastruktur.

[0093] DE102008007928A1 (Linde AG) legt ein Verfahren zum Befüllen eines mobilen Gastanks mit druckbeaufschlagtem Wasserstoffgas offen, jedoch nicht den dynamischen Auf- und Ausbau eines einzelnen Gastankstellen-Standortes und auch nicht den Auf- und Ausbau einer ganzen Gastankstellen-Infrastruktur.

[0094] 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 erfindungsgemäßen 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.

[0095] 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).

[0096] 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_{H₂} pro Tankstelle und Jahr aufweisen, was 1.000 Pkw-Äquivalenten entspricht.

[0097] 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_{H₂} 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.

[0098] 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.

[0099] 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 potenziellen 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.

[0100] 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.

[0101] 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

[0102] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, das in Deutschland bestehende Henne-Ei-Problem und das Kannibalisierungsproblem zu lösen sowie technische Betankungs-Lösungen (neue Betankungsverfahren und Anlagenkonfigurationen) zu schaffen, die

mit geringerem apparativen und daraus resultierend mit geringerem ökonomischem Aufwand auch dann mobile Verbraucher, insbesondere Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge, mit gasförmigem Gaskraftstoff versorgen, wenn die Zahl der im Einzugsbereich einer Gastankstelle stationierten Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge gering oder sehr gering ist. Gleichzeitig besteht die Aufgabe, diese neue Tankstellen-Infrastruktur so an steigende Absatzmengen anzupassen, dass der Vorteil des relativ geringen technischen und ökonomischen Aufwands erhalten bleibt.

[0103] Vor allem sind apparative Lösungen zu definieren, die eine Gaskraftstoff-Distribution in den ca. deutschen 4.100 Standorten (die erforderlichen 5.000 Standorte abzüglich der bereits mit Gastankstellen versorgten ca. 900 Standorte) gewährleisten, die bislang keine Tankstelle für gasförmige Gaskraftstoffe aufweisen.

Lösung

[0104] Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens im Wesentlichen durch die im Anspruch 1 aufgeführte Erfindung gelöst und hinsichtlich der Anlagenkonfigurationen bzw. der Systeme im Wesentlichen durch die im Anspruch 18 aufgeführte Erfindung, wobei vorteilhafte Weiterentwicklungen des Verfahrens in den Unteransprüchen 2 bis 17 aufgeführt werden und vorteilhafte Weiterentwicklungen der Anlagenkonfiguration in den Unteransprüchen 19 bis 35. Um bislang nicht mit Gaskraftstoff versorgte Standorte insbesondere in der Anfangsphase mit geringerer Nachfrage kostengünstiger als bisher mit Gastankstellen auszustatten, werden in systematischer Art und Weise zunächst ganz bestimmte kleine Gastankstellentypen errichtet. Die Erfindung beruht darin, dass diese vorbekannten Gastankstellentypen erstens nur vorübergehend installiert werden und zweitens nur so lange, bis ganz bestimmte Absatzmengen erreicht worden sind. Die installierten kleinen Gastankstellentypen werden sodann drittens durch bestimmte größere Tankstellentypen ersetzt, wobei die abgebauten kleinen Tankstellentypen viertens an anderen Standorten eine Weiterverwendung finden, d.h., die ursprünglich installierten Anlagen zur Betankung mobiler Verbraucher werden nicht obsolet sondern systematisch weiterverwendet, so dass mit dem Ersatz der Betankungstechnik kein Wertverlust und damit keine Sonderabschreibungen anfallen. Wenn die Absatzmengen dann noch weiter ansteigen, werden fünftens auch die etwas größeren Tankstellentypen wieder abgebaut und zwar sechstens bei Erreichen ganz bestimmter neuer Absatzmengen. Die etwas größeren Tankstellentypen werden siebtens durch noch größere Tankstellentypen ersetzt, wobei achtens auch diese abgebauten etwas größeren Tankstellentypen an anderen Standorten eine Weiterverwendung finden. Wenn die Absatzmengen dann immer noch steigen, wird neuntens konventionelle, d.h. große, Betankungstechnik eingesetzt, wobei zehntens die abgebaute mittelgroße Betankungstechnik an

einem anderen Standort weiterverwendet. Das Verfahren zum Aufbau und Betrieb einer Gastankstellen-Infrastruktur ist also durch ein systematisches schrittweises Vorgehen gekennzeichnet, das dem vorstehend beschriebenen konventionellen Vorgehen der Errichtung großer und größter Betankungstechnik an neuen Standorten diametral gegenübersteht. Durch die bewusste und systematische Vermeidung zu großen apparativen Aufwands in der Anfangsphase der Distribution an neuen Standorten und durch die schrittweise Vergrößerung der Gastankstellen erst in dem Moment, in dem die für die größere Betankungstechnik erforderliche Nachfrage gegeben ist, 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.

[0105] 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 (Gavco 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 / DE60318083T2 (Fuelmaker Corp.), DE000020213688U1 (Quru GmbH), DE000020309846U1 (Quru GmbH), DE1020650 2C1 (DaimlerChrysler AG), DE19650999 C1 (Mannesmann AG), DE19916385C2 (Mannesmann AG), DD115528A1 (Greer Hydraulics Inc.), DE102007049458A1 (MAN Nutzfahrzeuge AG), DE10107187A1 (Linde AG), DE29816811U1 (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).

[0106] Jedoch ist keine dieser Offenlegungen darauf ausgerichtet, die technische Ausstattung einer Gastankstelle dynamisch über die Grenzen einer einzelnen Tankstelle hinweg für eine Mehrzahl von Gastankstellen an eine steigende oder sinkende lokale Nachfrage anzupassen, insbesondere nicht im Absatzmengenbereich von

weniger als 640.000 kWh_{hi} pro Gastankstelle und Jahr, wobei sich dieser Wert wie vorstehend beschrieben aus der üblicherweise installierten durchschnittlichen Verdichterkapazität ergibt. Auch haben die bisher bekannten 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 einzelnen Verfahrensschritte und 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, den spezifischen apparativen Aufwand und damit die spezifischen, auf die abgegebene kWh_{Gas} bezogenen, anteiligen Infrastrukturkosten und damit auch die spezifischen Vollkosten in Abhängigkeit von den sich ändernden Betankungsmengen zu minimieren.

[0107] Das erfindungsgemäße, auf die dynamische Anpassung der eingesetzten Tankstellentechnik an den sich ändernden tankstellenspezifischen und tankstellenübergreifenden Gaskraftstoffbedarf der Kundschaft ausgerichtete Verfahren zur Betankung mobiler Gaskraftstoffverbraucher besteht bei voller Nutzung aller Ausführungs- bzw. Optimierungsmöglichkeiten aus insgesamt 9 Verfahrensschritten. Diese umfassen im Einzelnen die Verfahrensschritte 1.) Auswahl des Distributionsgebietes, 2.) Einteilung des Distributionsgebietes in Einzugsbereiche bzw. Zellen bzw. Standorte, 3.) Akquisition neuer Kunden, 4.) Auswahl der zuerst mit Gaskraftstoff zu versorgenden Zellen, 5.) standortspezifische Auswahl der zum Einsatz kommenden Tankstellentechniken in Abhängigkeit der initialen standortspezifischen Absatzmengen, 6.) Festlegung der Mengengrenzen für Techniksprünge, 7.) Vermarktung des bzw. der Gaskraftstoffe und / oder der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge, 8.) Mengenbereichsspezifische Optimierung des anlagentechnischen und energetischen Aufwandes und 9.) Weiterverwendung ersetzter Tankstellentechnik.

[0108] Um die höchste Effizienz zu erreichen, sollten alle aufgeführten Verfahrensschritte zum Aufbau einer Gastankstellen-Infrastruktur durchlaufen werden, jedoch nicht notwendigerweise in der angegebenen Reihenfolge. Gleichwohl sind die meisten Verfahrensschritte optional, d.h. sie können übersprungen werden. Zum Beispiel sind der Schritt 2.) und/oder der Schritt 7.) und/oder der Schritt 8.) zwar nützlich und vorteilhaft, für die Erzielung eines (ersten) Erfolgs (absatzmengenspezifische Minderung der spezifischen, auf die einzelne kWh_{Gas} be-

zogenen Infrastrukturkosten bzw. Vollkosten ggü. den Infrastrukturkosten bzw. Vollkosten konventioneller Gastankstellen) aber nicht unbedingt erforderlich.

[0109] Die drei Verfahrensschritte 5.) "Auswahl der zum Einsatz kommenden Tankstellentechniken", 6.) "Festlegung der Mengengrenzen für Techniksprünge" und 9.) "Verwertung ersetzter Tankstellentechnik" haben - wie im Folgenden erläutert wird - besonders gewichtigen Einfluss auf die dynamische Anpassung / Optimierung des anlagentechnischen und energetischen Aufwands an sich ändernde Betankungsmengen, aber auch sie können übersprungen werden.

[0110] Außer durch die Gestaltung des Gesamtverfahrens wird die Summe aus anlagentechnischem (apparativem) und energetischem Aufwand dadurch optimiert bzw. minimiert, dass bei möglichst jedem einzelnen Verfahrensschritt sowohl eine Optimierung des Anlagen- und Kapitalaufwands als auch des energetischen Aufwands erfolgt und zwar unter besonderer Berücksichtigung der Interdependenzen mit anderen Verfahrensschritten. So hat z.B. im Verfahrensschritt 6.) eine Verschiebung der Mengengrenzen nach oben z.B. zur Folge, dass eine für geringere Absatzmengen optimierte anlagentechnische Ausstattung einer Gastankstelle die höhere Nachfrage zwar noch ganz gut bedienen kann, es aber versäumt wird, insgesamt (nach Vollkosten berechnete) günstigere Betankungstechnik einzusetzen. Statt alte, zu klein gewordene Technik abzubauen, wird diese oftmals weiter genutzt, da sie "noch in Ordnung und noch nicht abgeschrieben" sei. Noch häufiger wird jedoch - wie vorstehend beim Tankstellentyp 1 beschrieben - im Vorgriff auf erwartete große Absatzmengen in überdimensionierte Tankstellentechnik investiert. Hier wird bislang nicht der erfindungsgemäße Weg gegangen, zunächst sehr kleine Tankstellentechnik zu installieren und diese nach Generierung einer ersten, ausreichend großen Nachfrage abzubauen und durch eine nächstgrößere, ggf. völlig andere Tankstellentechnik zu ersetzen.

[0111] Bei bestimmten Absatzmengen kann es für eine Optimierung auch erforderlich sein, diesen Schritt vorerst noch nicht zu tun und die Tankstellentechnik durch eine moderate Anpassung und/oder durch andere Betriebsweise der vorhandenen Betankungstechnik besser zu nutzen (s.u.).

Erreichte Vorteile

[0112] Wenn das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäßen Anlagenkonfigurationen flächendeckend realisiert sind, kann fast jeder beliebige Ort in Deutschland relativ kostengünstig und dauerhaft mit Gaskraftstoff versorgt werden, auch wenn dort nur ein einziger Nachfrager bzw. Kunde seinen Standort hat. Aktuell kann die für die physische Distribution von CNG aufgebaute CNG-Tankstellen-Infrastruktur nämlich erst rd. 18% (900 Standorte von 5.000 Standorten) des Bundesgebietes versorgen.

[0113] Mit dem hier offengelegten Verfahren und der

erfindungsgemäßen dynamischen Gestaltung der Anlagenkonfigurationen können nicht nur die Gase Erdgas, THG-reduziertes BioMethan, SynMethan und Niederdruck-Wasserstoffgas 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). Anstatt aber jeden der rd. 5.000 deutschen Standorte mit einer großen oder mittelgroßen Gastankstelle auszustatten, werden große und mittelgroße Tankstellen nur dort errichtet, wo sich jeweils vorher (!) eine ausreichend große Nachfrage aufgebaut hat. In den anderen Zellen bleibt kleinere, mit wesentlich geringeren Investitionen verbundene Tankstellenanlagentechnik installiert. Insbesondere zu Beginn der physischen Distribution des/der neuen Gaskraftstoffe wird letzteres in der ganz überwiegenden Mehrheit der Standorte der Fall sein. Diese Vorgehensweise vermeidet Überinvestitionen, stellt aber dennoch eine Vollversorgung sicher. Der Aufbau der Tankstellen-Infrastruktur kann sogar großenteils aus sich selbst heraus finanziert werden.

[0114] Mit der resultierenden Gastankstellen-Infrastruktur ist die notwendige Grundlage gelegt, um relativ kostengünstige und erdölunabhängige Mobilität, die nicht auf neuer und problembehafteter Elektro- oder Wasserstofftechnik basiert, sondern auf bewährter Verbrennungsmotorentchnik und auf THG-reduziertem Gaskraftstoff, 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-freie Automobilität möglich. Diese ist zudem unabhängig vom Erdöl und damit auch unabhängig von 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 zumodifizieren.

[0115] Die Nachteile der ggf. ebenfalls CO₂-freien und erdölunabhängigen Elektromobilität wie kurze Reichweite, lange Ladezeiten, hohes Batteriegewicht, ggf. zu geringe Batterie-Ladezyklen, extrem hohe zusätzliche Anschaffungskosten für das Fahrzeug (ein Citroen C1-Cero kostet aktuell z.B. das Vier- bis Fünffache eines entsprechenden C1 mit Benzinantrieb), problematische Beheizung im Winter und problematische Klimatisierung im Sommer, Investition in neue Produktionslinien, hohe F&E-Ausgaben und Probleme bei der Beschaffung der für die Herstellung der Batterien erforderlichen Seltenen Erden etc. etc. treten dabei nicht auf, denn Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge entsprechen bis auf die zusätzlichen Gastanks - und einigen Modifikationen am Motor konventionellen Benzinfahrzeugen. Weder muss die

hochkomplexe Motorentchnik auf eine einfache Elektromotorentchnik umgestellt werden, noch müssen Hochleistungsbatterien entwickelt und produziert werden, noch wandert eine simpler gewordene Automobilindustrie in Billiglohnländer ab.

[0116] 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 (europäische) Automobilindustrie, für deren Arbeitnehmer, für die Autokäufer und -nutzer und last but not least für die Umwelt.

Detaillierte Beschreibung

[0117] Der Aufbau einer (neuen) Gastankstellen-Infrastruktur erfordert in großen Regionen und Gebieten mehr Zeit als in kleinen Gebieten. Deshalb ist für die Bearbeitung z.B. des gesamten Bundesgebietes eine andere Umsetzungsstrategie zur Erreichung des Ziels einer flächendeckenden Betankungs-Infrastruktur erforderlich, als wenn es sich bei dem abzudeckenden Gebiet nur um einen Landstrich oder eine Stadt handelt. Im Extremfall brauchen nur eine oder zwei Gastankstellen errichtet und betrieben werden, wie das z.B. aktuell von den Betreibern der BioMethan-Tankstellen in Jameln, Niedersachsen, praktiziert wird. Im anderen Extremfall muss eine neue Infrastruktur von über 6.000 (Flüssig-)Gastankstellen aufgebaut werden, wie das in Deutschland in den letzten 8 Jahren unter der Marke "Autogas" für Flüssiggas geschehen ist.

[0118] Im Folgenden wird deshalb nur ein Ausführungsbeispiel beschrieben. Dies sollte als rein beispielhaft und die Erfindung nicht einschränkend angesehen werden. Es wird hiermit explizit darauf hingewiesen, dass nur eines von vielen möglichen Ausführungsbeispielen dargestellt und beschrieben wird und dass sämtliche Veränderungen und Modifizierungen, die derzeit und zukünftig im Schutzzumfang der Erfindung liegen, geschützt werden sollen.

[0119] Die folgenden Ausführungen beziehen sich sowohl auf das erfindungsgemäße Verfahren als auch auf die erfindungsgemäßen Gastankstellen-Einrichtungen. Das erfindungsgemäße Verfahren zum schrittweisen, dynamisierten Aufbau und Betrieb einer Gastankstellen-Infrastruktur und die erfindungsgemäßen Gastankstelleneinrichtungen bestehen darin, an mindestens einem ausgewählten Standort eine minimalistische Gastankstelle aufzubauen (vgl. Ansprüche 1 und 18).

[0120] Unter Standort wird in diesem Zusammenhang jedes Grundstück, jedes Autobahnstück, jede Autobahnraststätte, jeder Straßenabschnitt, jede Straße, jeder Block, jeder Stadtteil, jede Ortschaft und jedes Dorf verstanden, an dem eine Gastankstelle errichtet und be-

trieben werden kann, sowie der Bereich um den Standort herum, der durch einen Luftlinienradius von 5.000 m gebildet wird (vgl. Ansprüche 1 und 18). Es wäre nämlich möglich, die Gastankstelle nur minimal zu verlegen, ohne dass sich für die zu betankende Kundschaft etwas Wesentliches ändern würde. Der Standort bzw. die Lokalität wäre z.B. auch dann unverändert versorgt, wenn die Gastankstelle innerhalb einer geschlossenen Ortschaft oder an einer Landstraße nur die Straßenseite wechseln würde. Es soll also auch dieser Fall einer minimalen Verlegung der Betankungstechnik geschützt sein, der Standortbegriff ist deshalb im weiten Sinne zu verstehen (vgl. Ansprüche 1 und 18).

[0121] Ziel ist es, den apparativen Aufwand und damit den zu tätigen Kapitalaufwand auf allen Ausbaustufen minimal zu halten, und zwar auch wenn sich die Betriebskosten dieser minimalen Betankungstechnik etwas erhöhen. Das drückt die relativen Infrastrukturkosten pro abgesetzter Energieeinheit bzw. pro Kunde (Pkw-Äquivalent) unter entsprechenden Infrastrukturkosten üblicherweise installierter Betankungstechnik (vgl. Figur 1).

[0122] Erfindungsgemäß wird deshalb insbesondere am Anfang, wenn die Nachfrage und der Gaskraftstoffabsatz an einem Standort noch nicht so hoch sind, möglichst kleine Betankungstechnik eingesetzt, z.B. verdichteter Tochter-Stationen eines Mutter-Tochter-Systems oder eine selbständige Betankungstechnik mit Anbindung ans Erdgasnetz, aber mit möglichst kleinem Verdichter. Für die erste Ausbaustufe ist es im Fall von verdichteter Tochter-Stationen zieladäquat und damit vorteilhaft, mit möglichst kleinen Gasspeichern zu arbeiten, also solchen, deren geometrisches Volumen maximal 4.800 Liter beträgt, was beim Einsatz von Standard-Druckgasflaschen mit einem geometrischen Volumen von jeweils 80 Litern 60 Standard-Druckgasflaschen entspricht. Je kleiner die Anzahl der Druckgasflaschen ist, desto geringer der apparative Aufwand und desto geringer auch der absolute und insbesondere der relative Kapitalaufwand, der mit abnehmender Absatzmenge stark ansteigt (vgl. Figur 1). Es ist also vorteilhaft, in der ersten Ausbaustufe, insbesondere bei (noch) kleinen Absatzmengen (vgl. Ansprüche 6 und 23), möglichst kleine Gasspeichertechnik einzusetzen (vgl. Ansprüche 1 und 9 Teil II sowie Ansprüche 18 und 26 Teil II).

[0123] Naturgemäß verursacht eine Speicherbank mit einem geometrischen Volumen von 2.900 Litern (das entspricht 37 Standard-Druckgasflaschen mit einem geometrischen Volumen von jeweils 80 Litern) einen geringeren apparativen Aufwand als eine Speicherbank mit einem geometrischen Volumen von 4.800 Litern (60 DGF). Eine Speicherbank mit 960 Litern (12 DGF) ist nochmals günstiger und vorteilhafter und eine Speicherbank mit 640 oder weniger Litern (8 DGF) ist am günstigsten. Bei gegebener Absatzmenge sinkt auch der relative apparative und kapitale Aufwand, denn der Gasspeicher wird häufiger genutzt bzw. weist pro Zeiteinheit (Abschreibungszeit = betriebsgewöhnliche Nutzungszeit, Jahr, Monat, Tag) eine häufigere Befüllungsfre-

quenz auf (vgl. Anspruch 10 Teil II und Anspruch 27 Teil II) und damit auch geringeren relativen Aufwand pro abgesetzter Energieeinheit bzw. pro Kunde (Pkw-Äquivalent). Das drückt die Kostenkurve im Bereich geringer Absatzmengen nach unten. Es ist deshalb im Sinne der gesetzten Ziele vorteilhaft, mit möglichst kleinen Gasspeichern zu arbeiten, insbesondere in der ersten Ausbaustufe (vgl. Ansprüche 1 und 18 sowie Ansprüche 9 Teil II und 26 Teil II).

[0124] Entsprechendes gilt für den Verdichter einer selbständigen, an das nationale Erdgasleitungsnetz und an das Starkstromnetz angeschlossenen Gastankstelle. Je kleiner dessen Verdichtungskapazität ausfällt, desto geringer der apparative Aufwand und desto geringer auch der Kapitalaufwand (vgl. Ansprüche 1 und 18). Bei gegebener Absatzmenge ist ein Verdichter mit geringer Verdichtungskapazität wie z.B. mit 5 Nm³/h länger in Betrieb bzw. weist eine höhere Betriebsstundenzahl auf als ein Verdichter mit höherer Verdichterkapazität wie z.B. mit 10 Nm³/h. Entsprechend verursacht ein Verdichter mit einer Verdichtungskapazität von 15 Nm³/h einen höheren absoluten apparativen und kapitalen Aufwand als ein solcher mit 10 Nm³/h, aber einen geringeren absoluten Aufwand als ein Verdichter mit einer Leistung von 20 Nm³/h (vgl. Ansprüche 1 und 18). Diese Werte gelten, wie vorstehend angesprochen, nur für Gastankstellen in der Ausbaustufe 1. Sie sind insbesondere zu sehen im Lichte der gegenwärtig üblicherweise in Deutschland neu installierten Verdichterkapazitäten von durchschnittlich 103 Nm³/h (s.o.).

[0125] Bei gegebener Absatzmenge sinkt auch bei der Verdichtertechnik der relative apparative und kapitale Aufwand, denn der kleinere Verdichter wird häufiger genutzt bzw. weist pro Zeiteinheit (Abschreibungszeit = betriebsgewöhnliche Nutzungszeit, Jahr, Monat, Tag) eine höhere Betriebszeit auf (vgl. Anspruch 10 Teil I und Anspruch 27 Teil I) und damit auch geringeren relativen Aufwand pro abgesetzter Energieeinheit bzw. pro Kunde (Pkw-Äquivalent). Es ist im Fall von selbständigen, mit Verdichtern ausgestatteten Gastankstellen also vorteilhaft, insbesondere in der ersten Ausbaustufe, möglichst kleine Verdichter einzusetzen (vgl. Ansprüche 1 und 18 sowie Ansprüche 8 und 25).

[0126] Durch den erfindungsgemäßen, von Anfang an vorgesehenen Ersatz dieser initialen Betankungstechnik der Ausbaustufe 1 durch größere Betankungstechnik der Ausbaustufe 2, der erfindungsgemäß verbunden ist mit der Weiterverwendung der ersetzten bzw. abgelösten Betankungstechnik an einem anderen Gastankstellenstandort, entfällt der Zwang zur (Sonder-)Abschreibung der ersetzten Technik. Deren Nutzung kann vielmehr in besonders vorteilhafter Weise am neuen Standort fortgesetzt werden (vgl. Ansprüche 1 und 18 sowie Ansprüche 9 Teil I und 26 Teil I).

[0127] Durch die Verwendung quasi-mobiler Betankungstechnik, insbesondere im Fall von verdichterlosen Tochter-Stationen eines Mutter-Tochter-Systems, entfällt zudem in vorteilhafter Weise der relativ hohe appa-

orative und bauliche Aufwand für die Anschlüsse der Gastankstelle an das nationale Erdgasleitungsnetz und an das Stromnetz. Das senkt nochmals den Kapitalaufwand, die absoluten Abschreibungen und insbesondere die relativen, auf eine abgesetzte Energieeinheit bzw. auf einen Kunden (Pkw-Äquivalent) bezogenen Abschreibungen und Infrastrukturkosten (vgl. Ansprüche 1 und 18).

[0128] Wie vorstehend dargelegt ist es also auf allen Ausbaustufen besonders vorteilhaft, möglichst kleine Betankungstechnik möglichst intensiv zu nutzen. Der relative apparative und kapitale Aufwand wird im Fall von verdichterlosen Tochter-Stationen von Mutter-Tochter-Systemen nochmals gesenkt, wenn das vorhandene geometrische Gasspeichervolumen durch eine intelligente, optimierte Betankung besser ausgenutzt wird. Dies ist z.B. gegeben, wenn die Gasspeichertanks (Druckgasflaschen) parallel geschaltet werden und/oder wenn möglichst viele Druckstufen betrieben werden (vgl. dazu Ansprüche 3 und 20 sowie die vom Erfinder parallel eingereichte Offenlegungsschrift "Verfahren und Anlagen für eine Gastankstelle zur größenoptimierten Abgabe gasförmiger Gaskraftstoffe an mobile Verbraucher").

[0129] Die Entleerung der gegebenen Speicherbank wird mittels einer Mehrzahl von kaskadenartig geschalteter Druckstufen maximiert. Diese Maximierung der Entleerung der bei den verdichterlosen Tochter-Station wiederbefüllten oder gefüllt angelieferten Gasvorratsbehälter reduziert ceteris paribus (bei gegebener Absatzmenge) sowohl die erforderliche Anzahl der Transportbehälter als auch die erforderliche Anzahl der Vorratsbehälter und somit den apparativen und ökonomischen mit der Folge, dass die relativen (spezifischen) Infrastrukturkosten und damit auch die relativen (spezifischen) Vollkosten der Betankung in erheblichem Maße zurückgehen, insbesondere im Bereich kleiner und kleinster Absatzmengen.

[0130] 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.

[0131] 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 entleert das 1. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug bei seiner Betankung die 1. Gasflasche unter Berücksichtigung des thermodynamischen Realgasfaktors (Kompressibilitäts-

faktors) 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-Füll-
druck des Drucktanks des Gas- oder Mehrkraftstofffahr-
zeuges, der üblicherweise rd. 200 bar beträgt. Das ist in
vorteilhafter Weise bei der Parallelschaltung anders.

[0132] 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.

[0133] Das 3. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug mit
seinem auf einen Restdruck von 20 bar geleerten Tank
wird gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zu-
nächst 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. Gasoder Mehrkraftstofffahrzeuges aus der 2. Gasfla-
sche 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 Druck-
gastank des 3. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuges auf
200 bar bringt und danach noch einen Restdruck von ca.
200 bar aufweist.

[0134] Bei der Betankung des 4. Gas- oder Mehrkraft-
stofffahrzeuges 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.

[0135] Insgesamt geht der Restdruck in den Gasfla-
schen mit jedem zu betankenden Gas- oder Mehrkraft-
stofffahrzeug weiter zurück, aber niemals weiter als der
(niedrigste) Restdruck im Tank des mobilen Verbrau-
chers, insbesondere des Gas- oder Mehrkraftstofffahr-
zeugtanks. Ohne Wiederauffüllung des Gasspeichers ist
der Restdruck der ersten drei Gasflaschen in diesem Be-
rechnungsbeispiel 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 Druck-
stufen können 12 Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge
vollständig und das 13. Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug
noch zu 52% betankt werden, wenn deren geometri-
sches Tankvolumen 100 Liter beträgt und sich der Rest-
druck in den Druckgastanks vor der Betankung noch auf
20 bar beläuft.

[0136] Bei einer Befüllung eines aus 12 Standard-Gas-
flaschen mit einem geometrischen Volumen von jeweils
80 Litern bestehenden Gasspeichers mit 250 bar werden
unter Berücksichtigung des thermodynamischen Real-
gasfaktors (Kompressibilitätsfaktors) für Methan rd. 267
m³ Gas vorrätig gehalten. Bei einer einstufigen Betriebs-
weise können damit 2,25 Gas- oder Mehrkraftstofffahr-
zeuge mit 100-Liter-Druckgastanks vollständig betankt
werden, und zwar insgesamt mit 53,4 m³. Von der Bela-
dungskapazität werden so lediglich 20% genutzt.

[0137] 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 thermodynami-
schen Realgasfaktors (Kompressibilitätsfaktors Z) für
Methan auf rd. 335 m³. Bei Nutzung der offenbarten er-
findungsgemäßen Mehrstufen-Schaltung können 12
Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge mit 100-Liter-Druck-
gastanks 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 ge-
nutzt.

[0138] Mit diesem Betankungssystem und der aufge-
zeigten Betriebsweise erhöht sich die Leistung der ver-
dichterlosen Tochter-Station also um 285 Nm³/94 Nm³
- 1 = 200%. Nicht nur die Erhöhung der nutzbaren Gas-
menge um den Faktor 4 reduziert den Anlagenaufwand
in der Tochter-Station ganz erheblich, sondern auch das
Weglassen des Verdichters. Um 12 Gas- oder Mehrkraft-
stofffahrzeuge aus einer Tochter-Station ohne Wieder-
befüllung des Gasvorratsbehälters betanken zu können,
müssten bei einem Verzicht auf den Verdichter bei einem
Befüllungsdruck von 250 bar unter Berücksichtigung des
thermodynamischen Realgasfaktors (Kompressibilitäts-
faktors) für Methan nämlich statt 12 parallel geschaltete
vielmehr rd. 40 in Reihe geschaltete Standard-Gasfla-
schen eingesetzt werden, deren Beladungskapazität zu-
dem nur zu rd. 20% genutzt werden könnte.

[0139] 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 Ka-
pitalbindung und der wesentlich geringeren Zinslast.
Selbst bei einem Befüllungsdruck von 350 bar würden
bei konventioneller Vorgehensweise unter Berücksichti-
gung des thermodynamischen Realgasfaktors (Kom-

pressibilitätsfaktors Z) für Methan statt 12 immerhin noch 23 Standard-Gasflaschen á 80 Liter benötigt, um 12 Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge mit 100-Liter-Druckgastanks betanken zu können.

[0140] Der Vorteil des geringeren technischen Aufwands ist dabei umso größer, je höher der Beladungsdruck bei dem mobilen Speicher ausfällt (vgl. Ansprüche 4 und 21) und je mehr Druckstufen eingesetzt werden (vgl. Ansprüche 3 und 20). 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 9 Teil II und 26 Teil II sowie Ansprüche 1 und 18).

[0141] Wie vorstehend dargelegt ist es also auf allen Ausbaustufen besonders vorteilhaft, möglichst kleine Betankungstechnik möglichst intensiv zu nutzen. Der Schritt von der Ausbaustufe 1 zur nächsten Ausbaustufe 2 wird deshalb erfindungsgemäß erst dann vorgenommen, wenn die Absatzmenge entsprechend gestiegen ist bzw. es sich abzeichnet, dass sie in Kürze ansteigt, z.B. von 217.000 kWh_{HI}/a auf 500.000 kWh_{HI}/a oder von 433.000 kWh_{HI}/a auf 900.000 kWh_{HI} oder von 649.000 kWh_{HI}/a auf 1.300.000 kWh_{HI}/a (vgl. Ansprüche 6 und 7 sowie Ansprüche 23 und 24). Erfindungsgemäß gelten auf der Ausbaustufe 2 dieselben Gestaltungsprinzipien wie auf der Ausbaustufe 1, nur eben auf einem höheren Niveau.

[0142] Erfindungsgemäß wird deshalb insbesondere auch in der Ausbaustufe 2 möglichst kleine Betankungstechnik eingesetzt, z.B. verdichterlose Tochter-Stationen eines Mutter-Tochter-Systems mit einem maximalen geometrischen Volumen von 9.600 Litern oder z.B. selbständige Gastankstellentechnik mit Verdichter und Anbindung an das nationale Erdgasleitungsnetz mit einer Verdichtungskapazität, die maximal 50 Nm³/h auf ein Druckniveau von 250 bar bringen kann (vgl. Ansprüche 1 und 18). Es ist aus den vorstehend aufgeführten Gründen, die hier nicht wiederholt werden sollen, auch auf der Ebene der Ausbaustufe 2 von Vorteil (insbesondere wenn die Absatzmengen auf der Ausbaustufe 2 nur langsam wachsen), die Betankungstechnik auch auf der Ausbaustufe 2 möglichst klein zu halten. Ein häufig wiederbefülltes geometrisches Speicherbankvolumen von beispielsweise 1.920 Litern ist bei verdichterlosen Tochter-Stationen eines Mutter-Tochter-Systems ceteris paribus im Sinne des gesetzten Ziels (s.o.) vorteilhafter als ein selten wiederbefülltes geometrisches Speicherbankvolumen von 4.800 Litern (vgl. Ansprüche 1 und 18).

[0143] Entsprechendes gilt für die Größe der in der Ausbaustufe 2 eingesetzten Verdichter (Booster, Kompressoren): ein Verdichter, der beispielsweise 30 Nm³/h auf ein Druckniveau von 250 bar weist ceteris paribus in vorteilhafter Weise eine höhere Betriebsstundenzahl und somit eine höhere Nutzung und damit geringeren apparativen und kapitalen Aufwand auf als ein Verdichter, der 50 Nm³/h auf das selbe Druckniveau bringt (vgl. Ansprü-

che 1 und 18). Noch günstiger ist ein Verdichter, der nur 20 Nm³/h auf dieses Druckniveau bringt und nochmals günstiger ein Verdichter, der nur 10 Nm³/h schafft. Auch diese Werte der Ausbaustufe 2 sind zu sehen im Lichte der gegenwärtig üblicherweise in Deutschland neu installierten Verdichterkapazitäten von durchschnittlich 103 Nm³/h (s.o.). D.h., auch die in der Ausbaustufe 2 verbauten Betankungskapazitäten sind noch weit entfernt von dem, was gegenwärtig üblicherweise in Deutschland neu installiert wird, nämlich Verdichterkapazitäten von durchschnittlich 103 Nm³/h (s.o.).

[0144] Wie vorstehend dargelegt ist es also auf allen Ausbaustufen besonders vorteilhaft, möglichst kleine Betankungstechnik möglichst intensiv zu nutzen. Der Schritt von der Ausbaustufe 2 zur nächsten Ausbaustufe 3 wird deshalb erfindungsgemäß erst dann vorgenommen, wenn die Absatzmenge entsprechend gestiegen ist bzw. wenn sich abzeichnet, dass sie in Kürze ansteigen wird. Erfindungsgemäß gelten auf der Ausbaustufe 3 dieselben Gestaltungsprinzipien wie auf den Ausbaustufen 1 und 2, nur eben auf einem wieder höheren Niveau.

[0145] Im Fall der verdichterlosen Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems sind in der Ausbaustufe 3 Speicherbankgrößen von maximal 14.400 geometrischen Litern vorgesehen, solche mit maximal 7.200 geometrischen Litern sind aus den besagten Gründen vorteilhafter und solche mit maximal 2.000 geometrischen Litern nochmals vorteilhafter. Am vorteilhaftesten sind verdichterlose Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems mit geometrischen Speicherbankkapazitäten von maximal 1.500 Litern (vgl. Ansprüche 1 und 18).

[0146] Entsprechendes gilt auch auf der Ausbaustufe 3 für Gastankstellen mit Verdichtern: wenn die jährliche Absatzmenge z.B. 2.000.000 kWh_{HI}/a beträgt, ist ein Verdichter, der 150 Nm³/h auf mindestens 250 bar bringen kann, weniger geeignet als ein Verdichter der nur 100 Nm³/h auf mindestens 250 bar bringt, denn ersterer ist im Durchschnitt nur ca. 3,7 Stunden pro Tag in Betrieb und letzterer immerhin schon ca. 5,6 Stunden pro Tag. Ein Verdichter, der 75 Nm³/h auf 250 bar bringt, läuft dagegen bereits 7,4 Stunden pro Tag und ein Verdichter, der nur 50 Nm³/h auf 250 bar bringt, ist täglich ca. 11,1 Stunden in Betrieb. Es versteht sich von selbst, dass der apparative und der kapitale Aufwand bei kleineren Verdichtern günstiger ist und die Nutzung höher, als bei größeren Verdichtern. Dies schlägt wie vorstehend beschrieben durch auf die relativen, auf eine Energieeinheit bzw. auf einen Kunden (Pkw-Äquivalent) bezogenen Infrastruktur- und Vollkosten (vgl. Ansprüche 1 und 18).

[0147] Das vorstehend beschriebene dreistufige Verfahren zum Aufbau und Betrieb einer Gastankstelle und die vorstehend in drei Ausbaustufen ausgebaute Gastankstelle können auch in zwei Stufen ausgebaut werden (s. Ansprüche 2 und 19). Das ist zwar immer noch vorteilhafter als die bislang praktizierte einstufige Vorgehensweise, aber weniger vorteilhaft als der dreistufige Ausbau der Gastankstellen-Betankungstechnik. In der

zweiten Ausbaustufe muss dann nämlich so lange eine apparative Kapazitätsreserve vorgehalten (und bezahlt) werden, bis die Absatzmenge so hoch geworden ist, dass die Betankungstechnik voll ausgelastet ist. Dies wäre eine Wiederholung der gegenwärtig von den Marktakteuren praktizierten Vorgehensweise, nur auf niedrigerem Niveau.

[0148] Wesentlich sinnvoller und vorteilhafter ist deshalb eine Verfeinerung der erfindungsgemäßen Vorgehensweise sowohl hinsichtlich des Verfahrens als auch hinsichtlich der Gastankstellen-Einrichtungen vorzunehmen. Dazu wird die dreistufige Vorgehensweise dergestalt erweitert, dass zwischen dem ersten und zweiten Verfahrensschritt bzw. zwischen der ersten und der zweiten Ausbaustufe der Gastankstelle ceteris paribus mindestens ein weiterer Ausbauschnitt bzw. mindestens eine weitere Ausbaustufe mit größerer Betankungstechnik als im ersten Verfahrensschritt / in der ersten Ausbaustufe aber kleinerer Betankungstechnik als im zweiten Verfahrensschritt / in der zweiten Ausbaustufe eingeschoben wird. Die Größe der Betankungstechnik bemisst sich dabei hinsichtlich der Merkmale des maximalen Gasmassenstroms des mindestens einen Verdichters, des maximalen Druckniveaus des Verdichters, des geometrischen Volumens der Gasspeicheranlage und des maximalen Druckniveaus der Gasspeicheranlage in voll befülltem Zustand (vgl. Ansprüche 2 und 19). Dadurch können die Betankungskapazitäten noch enger auf die aktuellen Absatzmengen eingestellt werden, was (vorübergehende) apparative Überkapazitäten vermeidet bzw. reduziert (vgl. Ansprüche 2 und 19). Das Problem obsoleter Technik entsteht nicht, da die abgelöste bzw. ersetzte Technik auch hier wieder wie vorstehend beschrieben an einem anderen Gastankstellen-Standort weiterverwendet wird.

[0149] Die dreistufige Vorgehensweise kann auch erweitert werden, indem zwischen dem zweiten und dritten Verfahrensschritt bzw. zwischen der zweiten und der dritten Ausbaustufe der Gastankstelle ceteris paribus mindestens ein weiterer Ausbauschnitt bzw. mindestens eine weitere Ausbaustufe mit größerer Betankungstechnik als im zweiten Verfahrensschritt / in der zweiten Ausbaustufe aber kleinerer Betankungstechnik als im dritten Verfahrensschritt / in der dritten Ausbaustufe eingeschoben wird. Die vorteilhaften Absatzmengen betragen in diesem Fall weniger als 1.600.000 kWh_{H₂}/a, vorzugsweise weniger als 1.300.000 kWh_{H₂}/a, besonders vorzugsweise weniger als 900.000 kWh_{H₂}/a und insbesondere weniger als 500.000 kWh_{H₂}/a bzw. weniger als 140.000 kWh_{H₂}/Monat, vorzugsweise weniger als 110.000 kWh_{H₂}/Monat, besonders vorzugsweise weniger als 75.000 kWh_{H₂}/Monat und insbesondere weniger als 36.000 kWh_{H₂}/Monat (vgl. Ansprüche 7 und 24).

[0150] Auch in diesem Fall werden die Betankungskapazitäten noch enger auf die aktuellen Absatzmengen abgestimmt, was ebenfalls (vorübergehende) apparative Überkapazitäten vermeidet bzw. reduziert (vgl. Ansprü-

che 2 und 19). Das Problem obsoleter Technik entsteht auch hier nicht, da die abgelöste bzw. ersetzte Technik wieder wie vorstehend beschrieben an einem anderen Gastankstellen-Standort weiterverwendet wird.

[0151] Eine vorteilhafte Weiterentwicklung des vorstehend beschriebenen Verfahrens und der vorstehend beschriebenen Ausbaustufen der Gastankstelle kann sowohl der Wechsel bzw. die Ergänzung von verdichterlosem Tankstellenbetrieb auf bzw. mit solchen mit Verdichter darstellen als auch der Wechsel bzw. die Ergänzung von Betankungstechnik mit Verdichter auf bzw. mit verdichterlosem Tankstellenbetrieb (vgl. Ansprüche 5 und 22).

[0152] Wenn man davon ausgeht, dass ein Pkw-Äquivalent in rd. 50 Betankungsvorgängen ä 200 kWh_{H₂} rd. 10.000 kWh_{H₂}/a tankt, dann bedeutet eine abgesetzte Energiemenge von 865.000 kWh_{H₂}/a, dass 86 bis 87 Pkw-Äquivalente versorgt werden und es jährlich zu rd. 4.325 Betankungsvorgängen kommt. Bei einer Tankstellenverfügbarkeit von 360 Tagen/a bedeutet dies eine durchschnittliche Betankungsfrequenz von 12 Betankungen pro Tag. In der Regel entfallen davon rd. 10 Betankungen auf die Tageszeit von 07 Uhr bis 19 Uhr und rd. 2 Betankungen auf die Nachtzeit von 19 Uhr bis 07 Uhr. 200 kWh_{H₂}/Betankung entsprechen rd. 20 Nm³/Betankung. Eine Gastankstelle, die 360 Nm³ gasförmigen Gaskraftstoff in ihrer Gasspeicheranlage vorhält, kann also 18 Betankungen vornehmen (was dem Bedarf von 1 ½ tagen entspricht), ohne den Verdichter einschalten oder eine sonstige Wiederbefüllung vornehmen zu müssen. Bei einer anfänglichen Kundschaft von 5 bis 10 Pkw-Äquivalenten ist diese Vorhaltung mindestens um den Faktor 10 zu groß. Es ist also vorteilhaft, den vorkomprimierten Gasvorrat neu errichteter Gastankstellen in Abhängigkeit von der Absatzmenge (vgl. Ansprüche 6 und 7 sowie Ansprüche 23 und 24) einzuschränken, vorzugsweise auf einen vorkomprimierten Gasvorrat von maximal 240 Nm³, besonders vorzugsweise auf maximal 120 Nm³ und insbesondere auf maximal 90 Nm³ (vgl. Ansprüche 8 und 25).

[0153] Ganz wesentliches Element des erfindungsgemäßen Verfahrens und des erfindungsgemäßen schrittweisen, an der Absatzmenge orientierten Ausbaus der (neuen) Gastankstellen ist die gänzliche oder zumindest teilweise Weiterverwendung abgelöster bzw. ersetzter Betankungstechnik an einem anderen Gastankstellen-Standort. Ohne diese Weiterverwendung wären das erfindungsgemäße Verfahren und der erfindungsgemäße Ausbau der (neuen) Gastankstellen zwar auch weiterhin noch möglich, jedoch nicht mehr ganz in der vorteilhaften außerordentlich hohen Effizienz (vgl. Anspruch 9 Teil I und Anspruch 26 Teil I).

[0154] Eine vorteilhafte Weiterentwicklung des Verfahrens und des Ausbaus neuer Gastankstellen kann insbesondere dann, wenn sich die erwarteten Steigerungen der Absatzmenge nicht einstellen, darin bestehen, die in einem beliebigen Ausbauschnitt bzw. in einer beliebigen Ausbaustufe anfänglich installierte Verdichterleistung

nachträglich zu reduzieren, z.B. indem ein kleinerer Verdichter mit geringerer Verdichtungskapazität (Gasmassestrom und/oder maximales Druckniveau) eingebaut wird und der größere Verdichter an einem anderen Standort weiterverwendet wird (vgl. Ansprüche 11 und 28).

[0155] Entsprechendes gilt für die in einem beliebigen Ausbauschritt bzw. in einer beliebigen Ausbaustufe anfänglich installierte Gasspeicherkapazität, die hinsichtlich des Merkmals maximales Druckniveau und/oder hinsichtlich des Merkmals geometrisches Volumen nachträglich reduziert werden kann, insbesondere dann, wenn sich die erwarteten Steigerungen der Absatzmenge nicht einstellen (vgl. Ansprüche 11 und 28).

[0156] Je schneller die Betankungstechnik an die Erfordernisse sich ändernder Absatzmengen angepasst wird, desto geringer die ökonomischen Verluste durch Vorhaltung ungenutzter Betankungskapazitäten. Es ist deshalb vorteilhafter, den jeweils nächsten Ausbauschritt bzw. die jeweils nächste Ausbaustufe möglichst rasch in kleinen Schritten bzw. in kleinen Stufen vorzunehmen, statt mit dem Ausbau länger zu warten und dann mit der jeweiligen Betankungstechnik einen größeren Kapazitätssprung zu machen. Die Anpassung der Betankungstechnik an die Veränderungen der Absatzmengen sollte deshalb nach weniger als 15 Jahren nach Inbetriebnahme der jeweiligen Gastankstelle vorgenommen werden, vorzugsweise nach weniger als 8 Jahren, besonders vorzugsweise nach weniger als 4 Jahren und insbesondere nach weniger als 2 Jahren (vgl. Anspruch 4 Teil II und Anspruch 21 Teil II).

[0157] Je mehr die installierte Betankungstechnik genutzt wird, desto vorteilhafter ist dies für Ökonomie der Gastankstelle. Bei den Verdichtern drückt sich dies in der täglichen bzw. monatlichen Betriebszeit aus. Ein Verdichter, der täglich 12 Stunden oder monatlich 360 Stunden in Betrieb ist, ist optimal ausgelastet. Es ist deshalb vorteilhaft, wenn der Verdichter einer Gastankstelle eine monatliche Betriebszeit von mehr als 20 Betriebsstunden aufweist, vorzugsweise von mehr als 90 Betriebsstunden, besonders vorzugsweise von mehr als 180 Betriebsstunden und insbesondere von mehr als 360 Betriebsstunden (vgl. Ansprüche 10 und 27).

[0158] Im Fall der verdichterlosen Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems drückt sich die Nutzung in der Anzahl der Wiederbefüllungen des Gasspeichers pro Zeiteinheit aus. Bei einer Wiederbefüllung in der Zeitspanne von einem Jahr ist die Tochter-Station definitiv nicht ausgelastet, d.h., sie wird suboptimal genutzt. Je höher die Wiederbefüllungsfrequenz, desto geringer die Verluste durch Vorhaltung ungenutzter Gasspeicherkapazitäten. Es ist deshalb von Vorteil, die Gasspeicheranlage einer verdichterlosen Tochter-Station öfter als 1 mal pro drei Monate wiederzubefüllen, vorzugsweise öfter als 1 mal pro Monat, besonders vorzugsweise öfter als 2 mal pro Monat und insbesondere öfter als 4 mal pro Monat (vgl. Anspruch 10 Teil II und Anspruch 27 Teil II).

[0159] Es kann besonders vorteilhaft sein, mehrere

kleine an dezentralen Standorten errichtete Gastankstellen, die sich auf einer niederen Ausbaustufe befinden, durch eine größere zentrale Gastankstelle zu ersetzen, die eine höhere Ausbaustufe aufweist (vgl. Ansprüche 12 und 29).

[0160] Im Fall der verdichterlosen Tochter-Stationen von Mutter-Tochter-Systemen kann es besonders vorteilhaft sein, die Gasspeichertanks bzw. die Standard-Druckgasflaschen nicht wiederzubefüllen, sondern die geleerten Gasspeichertanks bzw. Standard-Druckgasflaschen gegen gefüllte auszutauschen (vgl. Anspruch 13 Teil I und Anspruch 30 Teil I).

[0161] Im Fall der verdichterlosen Tochter-Stationen von Mutter-Tochter-Systemen kann es vorteilhaft sein, die Gasspeichertanks bzw. die Standard-Druckgasflaschen nicht wiederzubefüllen, sondern die gesamte Gastankstelle mobil auszuführen und die Gastankstelle mit geleertem Gasspeicher durch eine andere mobile Gastankstelle mit gefülltem Gasspeicher auszutauschen (vgl. Anspruch 13 Teil II und Anspruch 30 Teil II).

[0162] Für jede Gastankstelle ist es von besonderem Vorteil, wenn sie möglichst groß wird. Die Größe einer Gastankstelle drückt sich in der Kapazität des Verdichters und/oder in der Kapazität des Gasspeichers aus. Es ist also vorteilhaft, wenn die größere Betankungstechnik einer nachfolgenden Ausbaustufe hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassestrom des Verdichters, maximales Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand um mindestens 10% größer bzw. höher ausfällt als im vorhergehenden Verfahrensschritt, vorzugsweise um mindestens 50%, besonders vorzugsweise um mindestens 100% und insbesondere um mindestens 200% (vgl. Ansprüche 14 und 31).

[0163] Die Gastankstellen können öffentlich betrieben werden oder nicht-öffentlich, z.B. in der Form von Betriebshof-Tankstellen oder als Flottentankstellen. Sowohl für den Aufbau einer Gastankstellen-Infrastruktur als auch für die einzelnen Gastankstellen ist es vorteilhaft, wenn die einzelne Gastankstelle öffentlich zugänglich ist. So hat sie die Chance auf höheren Absatz, bessere Auslastung, schnelleres Wachstum, geringere Vorhaltung ungenutzter Betankungstechnik (Verdichter und/oder Gasspeicher) und bessere Kostendeckung (vgl. Ansprüche 15 und 32).

[0164] Am Anfang sind die neu installierten Gastankstellen noch klein, insbesondere wenn sie erfindungsgemäß errichtet und ausgebaut werden. Es verursacht unnötige Infrastrukturkosten, wenn für wenig oder sehr wenig frequentierte Gastankstellen Bedienpersonal vorgehalten wird. Es ist deshalb von Vorteil, die Gastankstellen der ersten Ausbaustufen ohne Bedienpersonal zu betreiben (vgl. Ansprüche 15 und 32).

[0165] Die rd. 900 deutschen Gastankstellen distribuieren gegenwärtig nur einen einzigen Gaskraftstoff, nämlich Erdgas. Dieses Erdgas gibt es nach Herkunft jeweils nur in einer von 2 Sorten, nämlich Erdgas-H und Erdgas-

L. Sowohl für den Aufbau der Gastankstellen-Infrastruktur als auch für die einzelne Gastankstelle kann es von Vorteil sein, wenn die Gastankstellen nicht nur einen gasförmigen Gaskraftstoff verkaufen, sondern eine Mehrzahl von Gaskraftstoffen, die verschiedene Kundensegmente bedienen. Möglich wäre es z.B., Erdgas anzubieten, dazu BioMethan, SynMethan, ggü. Benzin um mindestens 50% THG-reduziertes Methan, ggü. Benzin um mindestens 85% THG-reduziertes Methan, ggü. Benzin um mindestens 100% THG-reduziertes Methan (Methan ZeroEmission) und ggü. Benzin um >105% THG-reduziertes Methan, also THG-negatives Methan, StrohMethan und aus Biomüll erzeugtes Methan (vgl. Ansprüche 17 und 34). Die Ermittlung der Treibhausgasbelastung erfolgt dabei gemäß EU-Richtlinie 28/2009/EG nach der bekannten Methode der Lebenszyklusanalyse LCA.

[0166] Basis wäre in jedem Fall das Gas, das der Gastankstelle geliefert wird, i.d.R. also Erdgas-H oder Erdgas-L. Die Differenzierung der diversen Gaskraftstoffe ist dann wie beim Ökostrom eine virtuelle Differenzierung (vgl. Ansprüche 16 und 33).

[0167] Es kann von besonderem Vorteil sein, wenn nicht nur eine einzelne Gastankstelle in der beschriebenen Art und Weise errichtet, betrieben und ausgebaut wird, sondern eine Mehrzahl von Gastankstellen (vgl. Anspruch 35).

[0168] Zum besseren Verständnis wird die Erfindung im Folgenden 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.

[0169] **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 un-einheitlichem Maßstab versehene X-Achse der Grafik den Absatzmengenbereich von 1 Pkw-Äquivalent bis 1.000 Pkw-Äquivalente darstellt;

[0170] Die **Figuren 2 bis 8** zeigen die schematischen Blockdiagramme der für den erfindungsgemäßen Ausbau einzelner Gastankstellen verfügbaren Betankungs-module bzw. Betankungssysteme:

Figur 2 zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines im Markt verfügbaren Heim-Betankungs-

systems, als wesentliche Systemkomponenten umfassend ein Erdgasleitungsnetz mit Ausspeisepunkt, einen kleinen Verdichter, einen Betankungsschlauch mit Zapfhahn und das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug;

Figur 3 zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines im Markt verfügbaren Heim-Betankungssystems als vorteilhafte Weiterbildung des in Figur 2 dargestellten Betankungssystems, als wesentliche Systemkomponenten umfassend ein Erdgasleitungsnetz mit Ausspeisepunkt, einen kleinen Verdichter, einen kleinen stationären Gasspeicher, mindestens einen Betankungsschlauch mit Zapfpistole (Zapfhahn) und das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug;

Figur 4 zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines im Markt verfügbaren öffentlichen Betankungssystems als wesentliche Systemkomponenten umfassend ein Erdgasleitungsnetz mit Ausspeisepunkt, eine Mutter-Station mit relativ großem Verdichter, einen mobilen an die Tochter-Station andockbaren Gasspeicher, eine Tochter-Station mit Zapfsäule, Betankungsschlauch und Zapfpistole (Zapfhahn) sowie das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug;

Figur 5 zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines im Markt verfügbaren öffentlichen Betankungssystems als vorteilhafte Weiterbildung des in Figur 4 dargestellten Betankungssystems umfassend als wesentliche Systemkomponenten ein Erdgasleitungsnetz mit Ausspeisepunkt, eine Mutter-Station mit relativ großem Verdichter, einen mobilen Gasspeicher, eine Tochter-Station mit Verdichter und stationärem Gasspeicher, eine Zapfsäule mit Betankungsschlauch und Zapfpistole (Zapfhahn) sowie das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug;

Figur 6 zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines öffentlichen Betankungssystems als vorteilhafte Weiterbildung des in Figur 5 dargestellten Betankungssystems umfassend als wesentliche Systemkomponenten ein Erdgasleitungsnetz mit Ausspeisepunkt, eine Mutter-Station mit relativ großem Verdichter, einen mobilen Gasspeicher mit mobilem Verdichter, eine Tochter-Station mit stationären Gasspeicher I, Verdichter und stationärem Gasspeicher II, mit Zapfsäule, Betankungsschlauch und Zapfpistole (Zapfhahn) sowie das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstoff-

fahrzeug;

Figur 7 zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines öffentlichen Betankungssystems als vorteilhafte Weiterbildung des in Figur 6 dargestellten Betankungssystems umfassend als wesentliche Systemkomponenten ein Erdgasleitungsnetz mit Ausspeisepunkt, eine Mutter-Station mit Verdichter, einen mobilen Gasspeicher mit mobilem Doppel-Verdichter, eine Tochter-Station mit stationären Gasspeicher I, Doppel-Verdichter und stationärem Gasspeicher II, Zapfsäule mit Betankungsschlauch und Zapfhahn sowie das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug;

Figur 8 zeigt ein schematisches Blockdiagramm des erfindungsgemäßen öffentlichen Betankungssystems als vorteilhafte Weiterbildung des in Figur 7 dargestellten Betankungssystems umfassend als wesentliche Systemkomponenten ein Erdgasleitungsnetz mit Ausspeisepunkt, eine Mutter-Station mit relativ großem Verdichter, einen mobilen Gasspeicher mit mobilem Doppel-Verdichter, eine Tochter-Station mit einem nach dem Prümm-Verfahren arbeitendem Gasspeicher, einem Flüssigkeitsspeicher, einer Flüssigkeitspumpe, einer Zapfsäule mit Betankungsschlauch und Zapfhahn sowie das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug.

[0171] Die **Figuren 9 bis 12** zeigen schematische Blockdiagramme diverser Ausführungen, die für das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäßen Ausbaustufen einer Gastankstelle darstellen, bei welchen Schwellenwerten von einer Tankstellentechnik auf eine andere gewechselt werden kann.

Figur 9 zeigt ein schematisches Blockdiagramm, das für die Option des Gastankstellenausbaus mit 6 Verfahrensschritten bzw. 6 Ausbaustufen entsprechende Überleitungspunkte bzw. Schwellenwerte darstellt;

Figur 10 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Weiterbildung des in Figur 9 beschriebenen Ablaufschemas mit neuen Überleitungspunkten bzw. Schwellenwerten;

Figur 11 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Weiterbildung des in Figur 10 beschriebenen Ablaufschemas mit neuen Überleitungspunkten bzw. Schwellenwerten;

Figur 12 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Weiterbildung der in Figur 11 beschriebenen Ablaufschemas mit neuen Überlei-

tungspunkten bzw. Schwellenwerten;

[0172] Das Ausführungsbeispiel der **Figur 2** stellt in einem vereinfachten Blockschema die Bauform einer Heimtankstelle (Typ 2-Gastankstelle) dar. Dargestellt sind nur die für die Thematik wesentlichen Anlagenmodule. Dieses ganz einfache Betankungssystem besteht aus einem Gasleistungsnetz mit Ausspeisepunkt, einem kleinen Verdichter, mindestens einem Betankungsschlauch mit Zapfpistole (Zapfhahn) und dem zu betankenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug. Es gibt keinen Gasspeicher, das zu betankende Fahrzeug bleibt für die Zeit der Gasverdichtung an den Verdichter angeschlossen. Die Betankungszeit entspricht damit der Verdichtungszeit. Da der Verdichter das Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug nur langsam befüllen kann, spricht man in der Branche auch vom Slow Fill-Betankungsverfahren. **[0173]** Erfindungsgemäß wird der konstruktionsbedingte Vorteil der Heimtankstellen (auch Garagentankstellen oder Home Filling Stations HFS genannt) systematisch dafür genutzt, dass diese Aggregate ohne wesentliche bauseitige Arbeiten sowohl in Räumen wie Garagen als auch im Außenbereich in Betrieb genommen werden können. Dadurch ist an dem betroffenen Standort in vorteilhafter Weise zunächst keine konkrete Festlegung der Tankstellenstandorte erforderlich. Es wird an all den Standorten mit der physischen Distribution des (ggf. neuen) Gaskraftstoffes begonnen, in denen sich ein (Neu-)Kunde gemeldet hat. Wenn es noch keine Altkunden innerhalb der zumutbaren Anfahrtdistanz von ca. 10 Wegeminuten gibt, besetzt dieser (Neu-)Kunde einen neuen Standort. Mit dieser Vorgehensweise kann die auflaufende Nachfrage voll gedeckt werden, es unterbleiben sowohl eine Nichtversorgung als auch eine vorzeitige und ggf. überdimensionierte Investition in Tankstellentechnik in Regionen/Standorte ohne ausreichend hohe Nachfrage.

[0174] Den initialen Einzelkunden eines Standortes werden also zunächst private Tankstellen eingerichtet, und zwar so lange, bis die Gaskraftstoffnachfrage an deren Standort so weit angestiegen ist, dass mindestens die Installation einer öffentlichen Gastankstelle des Typs 4 oder des Typs 6a (s.u.) zu rechtfertigen ist. Sobald diese öffentliche Typ 4- oder Typ 6-Tankstelle in Betrieb gegangen ist, müssen die Erstkunden zur Betankung diese öffentliche Gastankstelle anfahren, denn die Heim-/Flottentankstellen werden wie vorstehend beschrieben demontiert und an anderen Standorten eingesetzt.

[0175] Als systematischer Vorteil wird erfindungsgemäß die Tatsache genutzt, dass die meisten Haushalte in Deutschland an das nationale Erdgasnetz angeschlossen sind. Dadurch kann im Prinzip in fast jedem Haushalt eine Heim-/Flottentankstelle errichtet werden.

[0176] Erfindungsgemäß wird ferner der Vorteil des relativ geringen Investitionsvolumens genutzt. Für wenige tausend Euro kann ein Standort mit einer ersten Möglichkeit zur Betankung mit einem (ggf. neuen) Gaskraftstoff versehen werden. Selbst wenn man davon ausgeht,

dass es einer Nachfrage von mindestens 8 Pkw-Äquivalenten bedarf, bis ein Standort eine öffentliche Typ 6-Tankstelle bekommt, ist das resultierende Investitionsvolumen relativ gering. Es wird noch geringer, wenn die anfängliche Investition in Heim- bzw. Flottentankstellen auf mehrere Nutzungen in verschiedenen, bis dato unbesetzten Standorten verteilt wird. An diesem Vorteil ändert auch die Notwendigkeit nichts, den (geringen) jeweiligen baulichen und stromtechnischen Installationsaufwand bei einer Demontage abzuschreiben.

[0177] Als Vorteil wird für den Aufbau der Gastankstellen-Infrastruktur erfindungsgemäß die Tatsache genutzt, dass die Installation einer Heimtankstelle im Vergleich zur Errichtung einer öffentlichen Tankstelle sehr schnell vorstatten geht.

[0178] Als weiterer Vorteil wird erfindungsgemäß durch intelligentes planerisches Vorgehen erarbeitet: wenn sich abzeichnet, dass die Nachfrage nach Gaskraftstoff die erste Mengengrenze bzw. den ersten Schwellenwert relativ bald überschreiten wird, wird für einen bestimmten Standort noch während deren Heimtankstellen-Phase mit der Suche nach einem geeigneten Standort für eine öffentliche Tankstelle (des Typs 4 oder des Typs 6a; s.u.) und mit den administrativen Arbeiten der Beantragung der behördlichen Betriebsgenehmigung begonnen, die oft relativ lange auf sich warten lassen. Wenn die Nachfrage dann tatsächlich die erste Mengengrenze überschreitet, geht weniger Zeit für den Aufbau der standortspezifischen Infrastruktur und der Tankstellen-Infrastruktur insgesamt verloren.

[0179] Nach neuer Erkenntnis des Erfinders fallen unter besonderer Berücksichtigung der fixen Anlagekosten (Abschreibung, Kapitalzinsen, Wartung, Instandhaltung, Versicherung) sowohl die spezifischen Infrastrukturkosten als auch die Vollkosten des Gastankstellen-Typs 2 zwar höher aus als die entsprechenden Kosten des konventionellen Gastankstellen-Typs 1, sie sind aber immer noch ganz erheblich geringer als die spezifischen Kosten einer großen Tankstelle, die mit überdimensionierter Anlagen- und Verdichtertechnik einen einzelnen Nachfrager oder einige wenige Nachfrager nur zu extrem hohen Kosten bedienen kann (vgl. Figuren 1, 2, 3 und 4). Diese Erkenntnis stellt eine wesentliche und zentrale Voraussetzung für die Erfindung des hier offenbarten Verfahrens zum Aufbau einer Gastankstellen-Infrastruktur und des ebenfalls offenbarten Betankungssystems dar.

[0180] Das Ausführungsbeispiel der **Figur 3** zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines Heim-Betankungssystems als vorteilhafte Weiterbildung des in **Figur 2** dargestellten Betankungssystems, als wesentliche Systemkomponenten umfassend ein Gasleistungsnetz mit Ausspeisepunkt, einen kleinen Verdichter, einen kleinen stationären Gasspeicher, mindestens einen Betankungsschlauch mit Zapfpistole (Zapfhahn) und das zu betankende Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug. Aufgrund des zusätzlichen stationären Gasspeichers sind Verdichterlaufzeit und Betankungszeit nicht mehr identisch, der Verdichter kann seine Arbeit auch dann verrichten, wenn

das Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug nicht an die Heimtankstelle angeschlossen ist. Die Betankungszeit wird so in vorteilhafter Weise verkürzt (das Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug wird zumindest zum Teil aus dem Gasspeicher befüllt), außerdem wird es möglich, mehrere Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge aus der Heimtankstelle heraus mit Gaskraftstoff zu versorgen.

[0181] Der Tank des bzw. der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge wird bei dieser Anlagenvariante direkt nach dem Anschluss an die Heim-/Flottentankstelle aus dem Flaschenspeicher relativ rasch mit beispielsweise 50% bis 75% befüllt mit der Folge, dass der Verdichter als restliche Verdichtungsarbeit nur noch 50% bis 25% der vorher notwendigen Zeit benötigt. Das Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug ist erstens weniger lang mit der Heimtankstelle verbunden ist und zweitens können ggf. ein zweites und drittes Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug über diese Heimtankstelle betankt werden. Dafür sind lediglich die Installation weniger zusätzlicher Gasflaschen und eine Umprogrammierung der elektronischen Steuerung der Heimtankstelle notwendig. D.h., mit einer geringen zusätzlichen Investition kann sich die tankstellenspezifische Abgabemenge mehr als verdoppeln.

[0182] Das Ausführungsbeispiel der **Figur 4** zeigt in einem vereinfachten Blockschema die einfachste Bauform einer Typ 6-Gastankstelle, also den Typ 6a. Dargestellt sind nur die für die Thematik wesentlichen Anlagenmodule. Diese wesentlichen Teile umfassen ein Erdgasleitungsnetz mit einem Ausspeisepunkt, eine Mutterstation mit einem (großen) Verdichter, mindestens einen mobilen Gasspeicher, mindestens eine Tochter-Station (in **Figur 3** ist nur eine Tochter-Station dargestellt) mit mindestens je einer Zapfsäule mit Betankungsschlauch und Zapfpistole (Zapfhahn), an der mindestens ein Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug betankt wird. Der mindestens eine mobile, unter Hochdruck von bis zu 350 bar stehenden 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.

[0183] Alternativ kommen das erfindungsgemäße mehrstufige Betankungsverfahren mit parallel geschalteten Druckgasflaschen und/oder das erfindungsgemäße mehrstufige Betankungssystem mit parallel geschalteten Druckgasflaschen zum Einsatz, bei dem das im mobilen Gasspeicher herrschende Druckniveau durch eine mehrstufige Schaltung weitgehend bis auf 20 bar und darunter entleert werden kann (s.o.).

[0184] Die erfindungsgemäße systematische Nutzung der Typ 6a-Tankstellentechnik 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 Stich-

leitung, 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.

[0185] 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.

[0186] Dieser zweite Vorteil der Typ 6a-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 parallele und mehrstufige Betriebsweise maximiert wird. Vorteilhafte Folge ist, wie vorstehend beschrieben wurde, dass die spezifischen Vollkosten je kWh_{Hi} 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, und / oder an der Zahl der eingesetzten (Standard-)Gasflaschen, die ebenfalls möglichst klein ausfallen sollte.

[0187] Das Ausführungsbeispiel der **Figur 5** zeigt eine vorteilhafte Weiterbildung des in **Figur 4** vorgestellten Betankungssystems. Dargestellt sind nur die für die Thematik wesentlichen Anlagenmodule. In der Tochter-Station ist ein Verdichter installiert, durch dessen Einsatz der angelieferte mobile Gasspeicher nicht nur bis auf 200 bar entleert wird, sondern bis auf 30 bar. Infolgedessen muss der an die Tochter-Station angeschlossene mobile Gasspeicher ceteris paribus weniger häufig ausgetauscht werden, was die Transportkosten reduziert. Der vom Verdichter der Tochter-Station verdichtete Gaskraftstoff wird in einem zur Tochter-Station gehörenden stationären Gasspeicher so lange zwischengespeichert, bis ein Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug zur Betankung erscheint. Nach dessen Befüllung füllt der Verdichter den stationären Gasspeicher aus dem mobilen Gasspeicher wieder auf bzw. sorgt für einen ausreichenden hohen

Druck, so dass das nächste Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeug betankt werden kann. Die Größe des stationären Gasspeichers richtet sich nach der Spitzenfrequenz (höchste Anzahl Betankungen pro Stunde), mit der die Tochter-Station von Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugen angefahren wird.

[0188] Ggf. wird der dem Verdichter der Tochter-Station nachgeschaltete stationäre Gasspeicher als Mehrstufenspeicher ausgeführt, vorzugsweise mindestens als 3-Stufen-Speicher, besonders vorzugsweise mindestens als 6-Stufen-Speicher und insbesondere mindestens als 12-Stufen-Speicher.

[0189] Die erfindungsgemäße Ablösung des 6a-Typs durch den 6b-Typ hat die Vorteile, dass weder ein Standortwechsel erfolgen muss (auch der 6b-Typ arbeitet ohne direkte Anbindung an das Erdgasleitungsnetz) noch dass der 6a-Typ unbedingt ersetzt werden muss. Er kann vielmehr unter Verwendung der bereits installierten Anlagenkomponenten wie z.B. der Betoneinhausung, der Zapfsäule, des Point of Sale -Terminals (Automat zur automatisierten Abwicklung des Zahlungsverkehrs) und der Speicherbank ohne Anbindung an das Erdgasnetz durch die Integration eines Verdichters (Boosters) auch zum 6b-Typ aufgerüstet werden. Dadurch gibt es bei dem Übergang keinen großer Sprung bei den spezifischen, auf die kWh_{Gas} bezogenen Vollkosten, was wiederum den Vorteil mit sich bringt, dass der Mengengrenzbereich, in dem ein solcher Wechsel erfolgen kann, weiter wird - was wiederum in positiver Weise die Flexibilität des Technikeinsatzes an dem einzelnen Standort erhöht. Eine höhere Flexibilität bei der technischen Ausstattung der einzelnen Zelle hat in vorteilhafter Weise mittelbar auch eine höhere Flexibilität bei der technischen Ausstattung der gesamten Tankstellen-Infrastruktur zur Folge.

[0190] Das Ausführungsbeispiel der **Figur 6** offenbart eine vorteilhafte Weiterbildung des in **Figur 5** gezeigten Betankungssystems. Dieses weist einen mit dem mobilen Gastank verbundenen mobilen Verdichter auf und in der Tochter-Station einen zusätzlichen ersten stationären Gastank sowie den aus **Figur 5** bekannten Verdichter. Dargestellt sind hier nur die für die Thematik wesentlichen Anlagenmodule. Der mit dem mobilen Gastank verbundene Verdichter transportiert den im mobilen Gastank befindlichen Gaskraftstoff anlässlich der Belieferung mit Gaskraftstoff aus der Mutter-Station in den ersten stationären Gasspeicher der Tochter-Station. Dadurch kann der mobile Gastank auf dem Transportfahrzeug verbleiben. Da der mobile Gasspeicher nicht abgeladen wird, kann er auch wesentlich größer ausgeführt werden, was in vorteilhafter Weise das relative Tara-Gewicht des mobilen Gasspeichers senken kann. Ceteris paribus kann das transportierte Nettogewicht dadurch zunehmen, was die spezifischen Transportkosten senkt.

[0191] Der mobile Verdichter erhöht zudem die Transportkapazität, denn der mobile Gasspeicher kann mit dem mobilen Verdichter auf bis zu 30 bar entleert werden. Ohne Verdichtereinsatz wäre nur eine Entleerung auf

200 bar möglich.

[0192] Ggf. wird der dem Verdichter der Tochter-Station nachgeschaltete stationäre Gasspeicher als Mehrstufenspeicher ausgeführt, vorzugsweise mindestens als 3-Stufen-Speicher, besonders vorzugsweise mindestens als 6-Stufen-Speicher und insbesondere mindestens als 12-Stufen-Speicher.

[0193] Auch hier kann statt der Auswechslung eine einfache Aufrüstung des Boosters zum BiBooster vorgenommen werden. Auch hier ist keine direkte Verbindung der Gastankstelle mittels einer direkten Leitung an das Erdgasnetz erforderlich. Auch hier ergeben sich ein erweiterter Mengengrenzbereich und daraus resultierend eine erhöhte Flexibilität bei dem Übergang von einer Betankungstechnik auf die nächste.

[0194] Die in **Figur 7** vorgestellte vorteilhafte Weiterbildung des in **Figur 6** gezeigten Betankungssystems weist statt des mobilen, an den mobilen Gasspeicher angebotenen einfachen Verdichters einen Doppelverdichter auf. Dieser hat den Vorteil, dass der mobile Gasspeicher nicht nur auf rd. 30 bar entleert werden kann, sondern auf bis zu 5 bar. In vorteilhafter Konsequenz muss die Tochter-Station ceteris paribus noch weniger häufig vom Lieferfahrzeug angefahren und beliefert werden, was die (spezifischen) Transportkosten weiter reduziert.

[0195] In der Tochter-Station arbeitet nun statt des einfachen Verdichters ein Doppel-Verdichter (BiBooster). Der Doppel-Verdichter (BiBooster) der Tochter-Station hat den Vorteil, dass deren erster stationärer Gasspeicher bis auf einen Restdruck von bis zu 5 bar entleert werden kann. Infolgedessen muss die Tochter-Station ceteris paribus noch weniger häufig beliefert werden, was die Transportkosten weiter reduziert. Diese Aufrüstung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Tochter-Station relativ viele Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge mit Gaskraftstoff versorgt.

[0196] Ggf. wird der dem Doppel-Verdichter der Tochter-Station nachgeschaltete Gasspeicher als Mehrstufenspeicher ausgeführt, vorzugsweise mindestens als 3-Stufen-Speicher, besonders vorzugsweise mindestens als 6-Stufen-Speicher und insbesondere mindestens als 12-Stufen-Speicher.

[0197] Das Ausführungsbeispiel der **Figur 8** zeigt eine vorteilhafte Weiterbildung des in **Figur 7** gezeigten Betankungssystems. Dargestellt sind nur die für die Thematik wesentlichen Anlagenmodule. An Stelle eines zweiten Gasspeichers wird in der Tochter-Station ein Gasspeichersystem eingesetzt, das nach dem Prümm-Verfahren arbeitet, d.h., der erste Gasspeicher, der Doppel-Verdichter und der zweite Gasspeicher werden durch einen Gasspeicher ersetzt, der auch Flüssigkeiten aufnehmen kann, in denen sich kein Gas löst. Zum Ausgleich des durch Betankungsvorgänge stattfindenden Druckverlustes wird mit einer Flüssigkeitspumpe eine geeignete Flüssigkeit in den Gasspeicher gepumpt, in der sich das gespeicherte Gas auch bei hohem Druck nicht löst. Da es energetisch und anlagentechnisch we-

niger aufwändig ist, unter Druck stehende Flüssigkeiten zu verpressen als Gase, ist diese technische Lösung für den Betreiber der Tochter-Station von Vorteil. Die relativ kostengünstige Flüssigkeitspumpe wird gg. so dimensioniert und der erste Gasspeicher der Tochter-Station wird ggf. so umgebaut, dass der Gasspeicher als Mehrstufen-Speicher fungieren kann.

[0198] Die standortspezifische Auswahl der zum Einsatz kommenden Tankstellentechniken, die in Abhängigkeit von der erreichten Absatzmenge vorgenommen wird, stellt ein zentrales Element des erfindungsgemäßen Verfahrens dar. Aus den vorstehend aufgeführten 7 Tankstellentypen und dem erfindungsgemäßen neuen Tankstellentyp der verdichterlosen, mit einer mehrstufigen Gasspeicheranlage ausgerüsteten Tochter-Station werden die für den jeweiligen Absatzmengenbereich am besten geeigneten Gastankstellentypen ausgewählt. Diese Auswahl erfolgt nach dem Kriterium der geringsten spezifischen, auf 1 kWh_{Gas} bezogenen Infrastrukturkosten, wobei für deren Berechnung neben den Abschreibungen insbesondere auch die Kapital- und die Stromkosten zu berücksichtigen sind. Hierbei ist zu bemerken, dass die hier beschriebenen Infrastrukturkosten letztlich ein Abbild des zu minimierenden technischen bzw. apparativen Aufwands sind, um den es bei dieser Erfindung eigentlich geht.

[0199] Bei der Auswahl der Tankstellentechnik war das Ziel der Tankstellenbetreiber bisher, die spezifischen, auf die einzelne kWh bezogenen Infrastrukturkosten und Vollkosten absolut zu minimieren (vgl. Figuren 1 und 2). Das war umso einfacher, je größer die Verdichterkapazität ausfiel, denn mit zunehmender Verdichtergroße sanken sowohl die spezifischen Anlagen- und Kapitalkosten als auch - effizienzund größenbedingt - die spezifischen Stromkosten. Vielfach wurde aber übersehen, dass diese positiven Kosteneffekte nur eintreten, wenn die großen Verdichter auch ausgelastet sind. Wie vorstehend dargelegt wurde, ist dies bislang nur bei CNG-Tankstellen der Fall, die neben dem motorisierten Individualverkehr (MIV) auch Busflotten und/oder Müllsammelwagen mit Gaskraftstoff versorgen.

[0200] Im Ausführungsbeispiel der **Figur 9** ist dargestellt, in welcher Art und Weise die in einem Standort zu installierende Gastankstellen-Anlagentechnik ausgewählt werden kann. Gezeigt wird eine Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens zur standortspezifischen Auswahl und anschließenden systematischen Anpassung der ausgewählten Betankungstechnik an eine Änderung der Nachfrage N per Aufrüstung/Ersetzung bzw. per Abrüstung/ Ersetzung der Betankungstechnik bzw. eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Ausbaus einer Gastankstelle, wobei die Nachfragemenge N in Pkw-Äquivalenten PÄ ausgedrückt wird. Obwohl in dieser Offenbarung mehrfach auf eine Gasmenge von 10.000 kWh_{Gas} pro Pkw-Äquivalent abgehoben wird, kann ein Pkw-Äquivalent in Abhängigkeit vom technischen Fortschritt bei der Antriebstechnik

alle Gasmengen zwischen 20.000 und 2.000 kWh_{Gas} pro Pkw und Jahr umfassen. Dargestellt sind nur die für die Thematik wesentlichen Verfahrensschritte.

[0201] Wenn im Bereich eines Standortes n neue Nachfrager N auftreten oder wegfallen und deren Zahl zusammen mit der Zahl der an diesem Standort bereits vorhandenen Nachfrager kleiner als der Schwellenwert von 8 Pkw-Äquivalenten (PÄ) bleibt, werden diese neuen Nachfrager wie die alten Nachfrager mit Gastankstellen des vorstehend beschriebenen Typs 2 (Heimtankstellen) oder des Typs 3 (kleine Flottentankstellen) ausgestattet. Aus Gründen der Minimierung des technischen Aufwands haben diese Heimtankstellen vorzugsweise eine Verdichtungsleistung von weniger als 10 Nm³/h und die Flottentankstellen eine Verdichtungsleistung von weniger als 20 Nm³/h, vorzugsweise von weniger als 15 Nm³/h, besonders vorzugsweise sind sie vom Typ BRC Fuelmaker Phill oder von einem der Typen BRC Fuelmaker FMQ-2, FMQ-2.5, FMQ-2-36 oder von baugleichen oder ähnlichen Modellen ggf. auch anderer Hersteller.

[0202] Wenn die Zahl der Nachfrager, die von einem Standort n versorgt werden, die Absatzmenge von 7 Pkw-Äquivalenten übersteigt (N ist nicht länger < 8 PÄ) und kleiner als 30 PÄ bleibt, kann für die neuen Kunden auf die Installation von Heimtankstellen verzichtet werden. Statt ihrer wird an dem bewussten Standort eine Typ 6a-Gastankstelle (Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems) errichtet, die nicht an ein Gasleitungsnetz angebunden ist und die keinen Verdichter (Booster) aufweist und auch keine nach dem Prümm-Verfahren oder nach einem vergleichbaren Verfahren arbeitende Druckgasspeicheranlage. Da das abzugebende Gas bereits in der Mutter-Station getrocknet und gefiltert wurde, entfallen auch Anlagen zur Gastrocknung und Gasfiltration. Der technische Aufwand der Gastankstelle wird deshalb vergleichsweise gering.

[0203] Die von der Tochter-Station als Lieferquelle genutzte mindestens eine, mit gasförmigem Druckgas gefüllte mobile Speicherbank sollte aus Gründen der Minimierung des technischen Aufwands ein geometrisches Volumen von maximal 4.500 Liter haben, vorzugsweise von maximal 2.000 Liter, besonders vorzugsweise von maximal 1.500 Liter und insbesondere von maximal 800 Liter. Vorzugsweise ist die Tochter-Station vom Subtyp der erfindungsgemäßen, parallel geschalteten und mehrstufig betriebenen Gasspeicheranlage (vgl. Ansprüche 3 und 20).

[0204] Alternativ zu den verdichterlosen Tochter-Stationen des Typs 6a, die ggf. parallel geschaltet sind und mehrstufig betriebenen werden, können in dem Absatzmengenbereich von 8 bis 29 PÄ auch zu öffentlichen Tankstellen aufgerüstete Flottentankstellen des Gastankstellen-Typs 4 zum Einsatz kommen, die an ein Gasleitungsnetz angebunden sind, wobei die Verdichtungsanlage als Schutz vor Überinvestitionen möglichst eine effektive Verdichtungsleistung von < 25 Nm³/h aufweisen sollte, vorzugsweise von < 12 Nm³/h. Die Verdichter

sind vom Typ BRC Fuelmaker FMQ-10 oder BRC Fuelmaker FMQ-8-36 oder von einem baugleichen oder ähnlichen Typ, oder von einem entsprechenden Typ eines anderen Herstellers.

[0205] Beim Einsatz von an das Erdgasnetz angebotenen Typ 4-Gastankstellen kommen deren geringe Größe und deren relativ geringer technischer Aufwand ins Zentrum der Betrachtung. Um Abschreibungen, Ersatzinvestitionen, Kapitalaufwand, Verzinsung, Wartung und Instandhaltung möglichst gering zu halten, sollten die Verdichterleistung möglichst eng an der Nachfrage ausgerichtet sein, was sich in der durchschnittlichen Verdichterlaufzeit pro Tag ausdrückt, die möglichst hoch ausfallen sollte, sowie in der Verdichterleistung, die möglichst niedrig ausgelegt sein sollte (vgl. Ansprüche 1 und 18). Auch die Gasspeicheranlage sollte möglichst klein ausgelegt sein, denn große Gasspeicheranlagen verursachen relativ hohe spezifische Abschreibungsbeträge, relativ hohe spezifische Kapitalkosten und relativ hohe Ersatzinvestitionen. Die Angemessenheit der ausgewählten Größe der Gasspeicheranlage lässt sich an ihrem geometrischen Volumen ablesen, das möglichst klein sein sollte (vgl. Ansprüche 1 und 18), an der für mehrere Betankungsvorgänge hintereinander zur Verfügung stehenden Gasmenge, die möglichst gering sein sollte (vgl. Ansprüche 8 und 25), und an der in 1 Stunde aus dem Gasspeicher und durch Zuschaltung des Verdichters mobilisierbaren Betankungskapazität, die ebenfalls möglichst gering sein sollte.

[0206] Ab einer Absatzmenge von 30 Pkw-Äquivalenten (PÄ) können statt der verdichterlosen Tochter-Stationen ohne Anbindung an ein Erdgasnetz (Typ 6a) auch die Be-tankungstechnik der Tochter-Station mit Verdichter (Booster) eingesetzt werden (Typ 6b), wobei der Verdichter als Schutz gegen Überinvestitionen im Monatsdurchschnitt mindestens 1 Stunde pro Tag laufen sollte, vorzugsweise mindestens 6 Stunden pro Tag, besonders vorzugsweise mindestens 12 Stunden pro Tag und insbesondere mindestens 18 Stunden pro Tag (vgl. Ansprüche 10 und 27). Die Verdichterlaufzeit ist nämlich ein Indikator für die Angemessenheit der getroffenen Investition. Je geringer die Laufzeit, desto höher die Überdimensionierung und je höher die Laufzeit, desto höher der Nutzungsgrad der (Verdichter-)Anlage. D.h., hohe Verdichterlaufzeiten sind vorteilhaft.

[0207] Eine nachteilige Überdimensionierung der auszuwählenden Gastankstellen wird vermieden, wenn die Verdichtungsleistung einer neu eingerichteten Tankstelle mit (noch) wenigen Nachfragern im Einzugsbereich weniger als 75 Nm³ / h beträgt, vorzugsweise weniger als 50 Nm³ / h, besonders vorzugsweise weniger als 25 Nm³ / h und insbesondere weniger als 13 Nm³ / h. So wird sichergestellt, dass der spezifische apparative und der ökonomische Aufwand pro abgegebener kWh_{Gas} minimiert werden.

[0208] Für den Fall, dass einer oder mehrere der neuen Nachfrager über keinen Gasanschluss verfügen oder sie die aus dem Betrieb der Heimtankstellen oder der

kleinen Flottentankstellen resultierenden Stromkosten nicht tragen wollen, müssen diese (unwilligen) Nachfrager in dem Ausführungsbeispiel der Figur 12 solange auf eine nahe Versorgung mit dem/den Gaskraftstoffen warten, bis die Zahl der Nachfrager an dem bewussten Standort den Schwellenwert von 8 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht hat und eine öffentliche Gastankstelle eingerichtet wird oder sie erhalten für eine Mehrzahl an zu versorgenden Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugen eine Heim-/Flottentankstelle mit zusätzlichem kleinem Gasspeicher (vgl. Figur 3).

[0209] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 8 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht aber noch unter 30 Pkw-Äquivalenten bleibt, wird in dem Ausführungsbeispiel der Figur 9 an dem betroffenen Standort n an einem geeigneten öffentlichen Ort eine Typ 6a-Betankungstechnik errichtet oder eine Typ 4- Betankungstechnik. Sobald diese in Betrieb gegangen ist, werden die (im schlechtesten Fall 7 Stück) Gastankstellen des Typs 2 demontiert und an einem oder mehreren anderen Standorten neu installiert.

[0210] Solange das Nachfragewachstum in des Standortes n nicht zu einer Gesamtnachfrage von >29 Pkw-Äquivalenten (PÄ) führt, wird die Typ 6a-Technik genutzt. Wenn die Nachfrage dauerhaft wieder unter 8 Pkw-Äquivalente (PÄ) zurückgehen sollte, wird die Tankstelle gemäß Anspruch 11 bzw. gemäß Anspruch 28 zurückgebaut. Die verbleibende Nachfrage wird über Heimtankstellen gedeckt. Damit findet nicht nur eine Anpassung der Tankstellentechnik an steigende, sondern auch an sinkende Nachfrage statt.

[0211] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 30 Pkw-Äquivalenten erreicht und unter 100 PÄ bleibt, wird die Typ 6a- Betankungstechnik der betroffenen Gastankstelle in vorteilhafter Weise entweder zur Typ 6b-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 6b-Betankungstechnik ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die Typ 6a-Betankungstechnik an einem anderen Standort neu installiert. Grundsätzlich ist auch ein direkter Wechsel zur Typ 6c-Technik möglich und schützenswert. Alternativ kann der Typ 6a durch den Typ 4 ersetzt werden. Wenn der Typ 4 bereits installiert war, bleibt er unverändert installiert.

[0212] Für den Fall, dass die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 100 Pkw-Äquivalenten erreicht, wird die Typ 6b-Betankungstechnik der betroffenen Gastankstelle in vorteilhafter Weise entweder zur Typ 6c-Betankungstechnik aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 6c-Betankungstechnik ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die demontierte Typ 6b-Betankungstechnik an einem anderen Standort neu installiert, wo sie einen Typ 6a ersetzt. Alternativ kann der Typ 6b durch den Typ 4 ersetzt werden. Wenn der Typ 4 bereits installiert war, bleibt er unverändert installiert.

[0213] Die Typ 6-Gastankstellen sind Tochter-Stationen

so genannter Mutter-Tochter-Systeme, die i.d.R. nicht an das Erdgasnetz angebunden sind, sondern mittels mobiler Gasdrucktanks mit Gaskraftstoff versorgt werden, wobei die mobilen, mit gasförmigem Druckgas gefüllten Gasspeicher (Speicherbänke) ein geometrisches Volumen von maximal 4.500 Liter aufweisen, vorzugsweise von maximal 2.000 Liter, besonders vorzugsweise von maximal 1.500 Liter und insbesondere von maximal 800 Liter (mit abnehmendem Speichervolumen sinkt der technische Aufwand), und wobei in der Tochter-Station zunächst kein Verdichter (Booster) eingesetzt wird, sondern lediglich eine Einrichtung zur Druckminderung (vgl. Ansprüche 1 und 18). Eine solche Gastankstelle ist eine des vorstehend beschriebenen Typs 6a. Je kleiner der mobile Gasspeicher ausfällt, desto weniger Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge können mit Gaskraftstoff betankt werden, ohne dass der Befüllungsdruck unter die üblichen 200 bar fällt, und desto häufiger müssen Lkw Nachschub an Gaskraftstoff in Form mobiler Gasspeicher heranschaffen. Dieser nachteilige Effekt wird bei einem hohen Gewicht der Kostenkomponenten Abschreibung und Kapitalkosten an den spezifischen Vollkosten überkompensiert durch Einsparungen bei eben diesen Kostenkomponenten. Kleine mobile Gasspeicher können deshalb trotz einer hohen Wiederbefüllungsfrequenz vorteilhaft sein (vgl. Ansprüche 1 und 18).

[0214] In den Tochter-Stationen können aber auch Verdichter (Booster) eingesetzt werden, die die ihnen vorgeschalteten mobilen Gasspeicher (Speicherbänke) bis auf einen Restdruck von höchstens 70 bar entleeren, vorzugsweise bis auf einen Restdruck von höchstens 50 bar, besonders vorzugsweise bis auf einen Restdruck von höchstens 40 bar und insbesondere bis auf einen Restdruck von höchstens 30 bar. Eine solche Gastankstelle ist eine des vorstehend beschriebenen Typs 6b. Vorteile dieses Gastankstellentyps sind die größeren nutzbaren Speicherkapazitäten und die geringere Wiederbefüllungsfrequenz (jede Wiederbefüllung verursacht erhebliche Transportkosten). Nachteilig wirken sich die Investitionen in den Verdichter und die damit verbundenen Kosten aus sowie die Betriebskosten des Verdichters (im Wesentlichen sind das Stromkosten). Je nach dem wie sich die standortspezifischen Rahmenbedingungen darstellen, ist es einmal von Vorteil, beim Tankstellentyp 6a zu bleiben, ein anderes Mal, zum Tankstellentyp 6b zu wechseln. In der Ausführungsvariante der Figur 9 ist dieser Schwellenwert mit 30 Pkw-Äquivalenten (PÄ) angenommen. In dem Ausführungsbeispiel der Figur 10 liegt er bei 50 Pkw-Äquivalenten (PÄ), in dem Ausführungsbeispiel der Figur 11 bei 75 Pkw-Äquivalenten und in dem Ausführungsbeispiel der Figur 12 bei 100 Pkw-Äquivalenten.

[0215] Wenn in der Tochter-Station ein Doppel-Verdichter (BiBooster) eingesetzt wird, der die ihm vorgeschaltete mobile Speicherbank bis auf einen Restdruck von höchstens 20 bar entleert, vorzugsweise bis auf einen Restdruck von höchstens 15 bar, besonders vorzugsweise bis auf einen Restdruck von höchstens 10 bar

und insbesondere bis auf einen Restdruck von höchstens 5 bar, liegt eine Gastankstelle des Typs 6c vor (s.o.). Die Investition für einen BiBooster ist höher als für einen einfachen Booster. Je nach dem wie sich die standortspezifischen Rahmenbedingungen darstellen, ist es einmal von Vorteil, beim Tankstellentyp 6b mit dem einfachen Verdichter zu bleiben, ein anderes Mal, zum Tankstellentyp 6c mit dem Doppel-Verdichter zu wechseln. In der Ausführungsvariante der Figur 9 ist dieser Schwellenwert mit 100 Pkw-Äquivalenten (PÄ) angenommen, in dem Ausführungsbeispiel der Figur 10 mit 150 PÄ, in dem Ausführungsbeispiel der Figur 11 mit 200 PÄ und in dem Ausführungsbeispiel der Figur 12 mit 250 PÄ.

[0216] Eine nachteilige Überdimensionierung der Typ 6c-Gastankstellentechnik mit ihrer Doppelverdichtungsanlage wird in vorteilhafter Weise vermieden, wenn die Verdichterkapazität des ggf. in der Tochter-Station installierten Verdichters so ausgewählt wird, dass dieser möglichst lange läuft und zwar mindestens 12 h/a, vorzugsweise mindestens 60 h/a, besonders vorzugsweise mindestens 300 h/a und insbesondere mindestens 900 h/a.

[0217] Der Wechsel vom 6c-Tankstellentyp zur Großtankstelle ist dann ein einschneidender, wenn konventionelle Tankstellentechnik zum Einsatz kommen soll. Wenn in der Nähe keine (Erd-)Gasleitung vorhanden ist, muss zur Anbindung entweder eine entsprechende Stichleitung verlegt werden oder die Tankstelle muss ihren Standort so verlegen, dass diese Anbindung möglich wird. Erfindungsgemäß ist das aber nicht unbedingt erforderlich. Statt des Tankstellentyps 1 kann in vorteilhafter Weise auch der Tankstellentyp 7 zum Einsatz kommen. Die Tochter-Stationen dieses Typs sind unabhängig von einer direkten Anbindung ans (Erd-) Gasnetz, d.h., der Standort der Tankstelle kann beibehalten werden.

[0218] Wenn ein Anschluss der einzurichtenden öffentlichen Tankstelle an das (Erd-) Gasnetz möglich ist, kann alternativ zur Typ 6-Tankstellentechnik auch die Typ 4-Tankstellentechnik zum Einsatz kommen. Dieser Tankstellentyp hat den Vorteil, dass die Investition in Tankstellentechnik noch weniger kostenintensiv als bei den Typ 6-Gastankstellen gestaltet werden kann, vorzugsweise bei tankstellenspezifischen Absatzmengen von < 100 Pkw-Äquivalenten bzw. < 1.000.000 kWh_{Hi-Gas} pro Jahr, besonders vorzugsweise bei tankstellenspezifischen Absatzmengen von < 50 Pkw-Äquivalenten bzw. < 500.000 kWh_{Hi-Gas} pro Jahr (vgl. Ansprüche 1 und 91) und insbesondere bei tankstellenspezifischen Absatzmengen von < 25 Pkw-Äquivalenten bzw. < 250.000 kWh_{Hi-Gas} pro Jahr. Entsprechend gehen die spezifischen, auf eine kWh_{Gas} bezogenen Vollkosten zurück, insbesondere die spezifischen Abschreibungen und der spezifische Kapitalaufwand.

[0219] Es kann ferner von Vorteil sein, die Gastankstellentechniken des Typs 6b und / oder des Typs 6c durch neuartige Anlagen zu ersetzen, die nach dem Prümm-Verfahren arbeiten und bei denen die der Toch-

ter-Station als Gasquelle dienende, mit gasförmigem Druckgas gefüllte mobile Speicherbank zusätzlich mit einer geeigneten Flüssigkeit befüllt wird, die das Druckgas bei einem Druck von < 200 bar mittels einer Flüssigkeitspumpe verdrängt ohne dass sich das Druckgas in der Flüssigkeit löst, wodurch sich der Druck des Druckgases wieder auf > 200 bar erhöht und wodurch die mobile Speicherbank bis auf eine Restmenge von höchstens 40% der ursprünglichen Befüllung entleert wird, vorzugsweise bis auf eine Restmenge von höchstens 25%, besonders vorzugsweise bis auf eine Restmenge von höchstens 10% und insbesondere bis auf eine Restmenge von höchstens 5%. Der Einsatz einer Flüssigkeitspumpe ist i.d.R. weniger energieintensiv als die Nutzung eines Verdichters bzw. eines Doppelverdichters und deshalb vorteilhaft.

[0220] Wenn der Versorgungsgrad bzw. die Absatzmenge an einem Standort zunimmt, kann es von Vorteil sein, die anfangs im Sinne der Ansprüche 1 und 18 klein gehaltenen Gasspeicheranlagen zur Erhöhung der Zahl der unmittelbar aufeinanderfolgenden möglichen Betankungen bzw. zur Erhöhung der Zahl der innerhalb einer Stunde möglichen Betankungen die Speicherkapazität der Gasspeicher in den Tochter-Stationen, die dem/den Verdichtern bzw. Flüssigkeitspumpen nachgeschaltet sind, nachträglich zu erweitern.

[0221] Um den Transportaufwand zu reduzieren kann es von Vorteil sein, den die dezentralen Tochter-Stationen mit Gaskraftstoff versorgenden mobilen Gasspeicher mit einem mobilen Verdichter (Booster) zu ergänzen, vorzugsweise mit einem mobilen Doppel-Verdichter (BiBooster), durch dessen Einsatz die mobile Speicherbank auf einen Restdruck von < 150 bar entleert werden kann, vorzugsweise auf einen Restdruck von < 100 bar, besonders vorzugsweise auf einen Restdruck von < 30 bar und insbesondere auf einen Restdruck von < 5 bar.

[0222] Alternativ kann der mindestens eine mobile Gasspeicher, der die mindestens eine Tochter-Stationen mit gasförmigem Gaskraftstoff aus der Mutter-Station versorgt, statt des Boosters oder statt des BiBoosters mit einem System ausgestattet werden, das nach dem vorbekannten Prümm-Verfahren oder einem vergleichbaren Verfahren arbeitet, d.h., bei dem der zur Wiederbefüllung genutzte mobile Gasspeicher mit einer geeigneten Flüssigkeit befüllt werden kann, die das Druckgas bei einem Druck von < 300 bar, vorzugsweise bei einem Druck von < 250 bar, besonders vorzugsweise bei einem Druck von < 200 bar unter Einsatz einer mobilen Flüssigkeitspumpe verdrängt, wodurch sich der Druck des Druckgases wieder erhöht und wodurch die mobile Speicherbank bis auf eine Restmenge von höchstens 40% der ursprünglichen Befüllung entleert wird, vorzugsweise bis auf eine Restmenge von höchstens 25%, besonders vorzugsweise bis auf eine Restmenge von höchstens 10% und insbesondere bis auf eine Restmenge von höchstens 5%. Der Einsatz einer Flüssigkeitspumpe ist i.d.R. weniger energieintensiv als die Nutzung eines Verdichters bzw. eines Doppelverdichters und des-

halb vorteilhaft.

[0223] Wenn im Ausführungsbeispiel der Figur 12 die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 400 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht und die Tankstellentechnik an das nationale Erdgasleitungsnetz (EG-Netz) angebunden werden kann, wird die Typ 6c-Betankungstechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 1-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 1-Tankstelle ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die demontierte Typ 6c-Tankstellentechnik an einem anderen Standort neu installiert. In den Ausführungsbeispielen der Figuren 10 bis 12 liegt dieser Schwellenwert nicht bei 400 PÄ, sondern bei 450 PÄ bzw. bei 600 PÄ bzw. bei 375 PÄ.

[0224] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 400 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht und die Tankstellentechnik nicht an das nationale Erdgasleitungsnetz (EG-Netz) angebunden werden kann, wird die Typ 6c-Betankungstechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 7-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 7-Tankstelle ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die vorher installierte Typ 6c-Betankungstechnik an einem anderen Standort neu installiert (vgl. Ansprüche 9 Teil I und Anspruch 26 Teil I).

[0225] Besonders vorteilhaft ist es, wenn das hier beschriebene Verfahren und das bzw. die aus den beschriebenen Anlagen bestehenden Betankungssysteme zur Distribution innovativer Gaskraftstoffe eingesetzt werden, vorzugsweise zur Distribution erdölunabhängiger, THG-reduzierter Gaskraftstoffe und besonders vorzugsweise zur Distribution erdölunabhängiger, THG-freier Gaskraftstoffe und insbesondere zur Distribution erdölunabhängiger, THG-negativer Gaskraftstoffe (vgl. Ansprüche 17 und 34). Die Distribution des mindestens einen innovativen Gaskraftstoffes wird dadurch unabhängig von den Betreibern von konventionellen Flüssigkraftstoff-Tankstellen, deren Interessen oft den Interessen von Gaskraftstoff-Distributoren entgegen laufen.

[0226] Es kann ferner von Vorteil sein, über die installierte Gastankstellen-Infrastruktur nicht nur innovative Gaskraftstoffe der vorstehend beschriebenen Art zu distribuieren, sondern auch Erdgas (CNG) und/oder synthetisches Methan, das mit dem bekannten Sabatier-Verfahren aus (regenerativem) Wasserstoff und (regenerativem) Kohlenstoffdioxid synthetisiert wird (vgl. Ansprüche 16 und 33).

[0227] Um die Betriebskosten der Gastankstellen möglichst niedrig zu halten, kann es von Vorteil sein, sie automatisch bzw. ohne Bedienpersonal in Selbstbedienung zu betreiben (vgl. Ansprüche 15 und 32). Wenn die Gastankstellen ohne Bedienpersonal betrieben werden, ist es essentiell, die Daten der einzelnen Betankungsvorgänge automatisch zu erfassen und an eine Abrechnungszentrale zu übermitteln.

[0228] Wenn die Betankung der Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeuge mit einer Mitgliedschaft in einem Club oder einer ähnlichen Organisation oder mit der Inhaber-

schaft einer Tankkarte verbunden ist, kann es von Vorteil sein, den einzelnen Betankungsvorgang vor der Betankung über geeignete Einrichtungen zur Dateneingabe zu beantragen und/oder freizuschalten, vorzugsweise elektronisch unter Nutzung von geeigneten Einrichtungen zum Lesen von kartengespeicherten Daten. Die Mitgliedschaft in einem Club oder der physische Besitz einer Tankkarte kann vorteilhaft für die Betreiber von Gaskraftstofftankstellen sein, denn beide binden den Endkunden an das Netz der Gaskraftstofftankstellen.

[0229] Um die Betankungsvorgänge für den Kunden, den Betreiber der mindestens einen Gaskraftstofftankstelle und die Behörden zu dokumentieren, ist es von Vorteil, von geeigneten Ausgabegeräten einen (Papier-)Beleg ausdrucken zu lassen und diesem dem Kunden zu überlassen.

[0230] Für den Kunden und/oder den Betreiber der Gastankstellen kann es von Vorteil sein, wenn die Daten des Kunden und/oder des Gas- oder Mehrkraftstofffahrzeugs mittels dafür geeigneter Einrichtungen elektronisch erfasst werden, vorzugsweise berührunglos.

[0231] Von besonderem Vorteil ist es, wenn die Daten des Kunden und/oder des Gasoder Mehrkraftstofffahrzeugs an der Gastankstelle mittels dafür geeigneter Einrichtungen vollelektronisch ohne Zutun des Kunden erfasst werden. So können mit wenig Aufwand insbesondere Täuschungsversuche verhindert werden. So wird auch eine vollautomatische Rechnungstellung und -begleichung möglich.

[0232] Für eine nachträgliche Erfassung und/oder Bearbeitung von Betankungsvorgängen an Gastankstellen kann es erforderlich sein, Belege als Hardcopy oder die elektronisierte Form von Hardcopy-Belegen an eine zentrale Stelle zu übermitteln.

[0233] Um eine verbesserte oder eine neutrale THG-Bilanz zu erhalten, ist es möglich und vorteilhaft, eine solche energetische Menge an THG-reduziertem oder THGfreiem Gas in ein Gasleitungsnetz einzuspeisen, wie sie zuvor über die Gastankstelle entnommen wurde oder wird oder werden wird, wobei der Typ der Gastankstelle keine Rolle spielt. Die Nutzer des Gaskraftstoffes sind dann THG-reduziert oder THG-frei unterwegs, obwohl sie physisch nur Erdgas getankt haben (vgl. Ansprüche 16 und 33).

[0234] Es kann für den Betreiber der Gastankstellen und/oder den bzw. die Kunden von Vorteil sein, wenn die Bezahlung des mindestens einen über die Gastankstellen bezogenen Gaskraftstoffes unter Nutzung der Banken-Infrastruktur bzw. der Bankensysteme bargeldlos erfolgt, vorzugsweise nach dem Lastschriftverfahren. Damit die Kunden/Gaskraftstoffverbraucher möglichst überall in der Lokalität den bereits bezogenen Gaskraftstoff wiederfinden, ist es von Vorteil, die Gastankstellen unter einer gemeinsamen Marke zu betreiben (vgl. Ansprüche 16 und 33). Es ist darüber hinaus für die Kunden von Vorteil, wenn die Kunden den bzw. die Gaskraftstoffe selbst und nicht nur den Ort des Bezuges (die Tankstelle) wiedererkennen und wenn die mindestens eine Zapfsäu-

le für den angesprochenen Gaskraftstoff deshalb mittels geeigneter apparativer Mittel wie Schilder, elektronische Anzeigeegeräte, Bildschirmen und/oder Aufkleber ausgestattet wird, die die Marke wiedergeben.

[0235] Insbesondere zu Beginn des Aufbaus der Infrastruktur ist es für die Tankstellen-Kunden von Vorteil, wenn die Standorte der Gastankstellen aus dem Internet abgerufen werden können bzw. wenn sie in Smart-Phones und/oder Navigationssysteme integriert sind, vorzugsweise als App.

[0236] Bei personallosem Betrieb ist es von Vorteil, wenn der Betriebszustand der Tankstelle mittels geeigneter Systeme (Einrichtungen) elektronisch abgerufen werden kann oder wenn die elektronische Tankstellensteuerung diesen selbständig meldet, vorzugsweise über das Telefon-Festnetz und besonders vorzugsweise über das Mobilfunk-Telefonnetz.

[0237] Das Ausführungsbeispiel der **Figur 10** zeigt eine Ausführungsvariante des von **Figur 9** schematisch dargestellten erfindungsgemäßen Verfahrens zur standortspezifischen Auswahl der Tankstellentechnik bzw. eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Ausbaus einer Gastankstelle mit anderen Schwellenwerten. Dargestellt sind nur die für die Thematik wesentlichen Verfahrensschritte bzw. Ausbaustufen. Wenn im Bereich eines Standortes neue Nachfrager hinzukommen und deren Zahl zusammen mit der Zahl der an diesem Standort bereits vorhandenen Nachfrager kleiner als der Schwellenwert von 15 Pkw-Äquivalenten (PÄ) bleibt, werden diese neuen Nachfrager wie die alten mit Gastankstellen des Typs 2 oder des Typs 3 ausgestattet.

[0238] Für den Fall, dass einer oder mehrere der neuen Nachfrager über keinen Gasanschluss verfügen oder sie die aus dem Betrieb der Heimtankstellen resultierenden Stromkosten nicht tragen wollen, müssen diese Nachfrager solange auf eine nahe Versorgung mit dem/den Gaskraftstoffen warten, bis die Zahl der Nachfrager an dem bewussten Standort den Schwellenwert von 15 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht hat und eine öffentliche Gastankstelle in Betrieb genommen ist.

[0239] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage N von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 15 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht, wird an dem betroffenen Standort an einem geeigneten öffentlichen Ort eine Typ 6a-Betankungstechnik oder eine Typ 4-Betankungstechnik errichtet. Sobald diese in Betrieb gegangen ist, werden die (im schlechtesten Fall 14 Stück) vorher installierten Gastankstellen des Typs 2 demontiert und an einer oder mehreren anderen Standorten neu installiert.

[0240] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 50 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht, wird die Typ 6a-Betankungstechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 6b-Betankungstechnik aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 6b-Betankungstechnik ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die vorher installierte Typ 6a-Betankungstechnik an einem anderen Standort neu installiert. Alternativ kann der Typ 6a durch den Typ

4 ersetzt werden, es sei denn, der Typ 4 war bereits installiert. In letzterem Fall bleibt alles beim Alten.

[0241] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 150 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht, wird die Typ 6b-Betankungstechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 6c-Betankungstechnik aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 6c-Betankungstechnik ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die vorher installierte Typ 6b-Betankungstechnik an einem anderen Standort neu installiert.

[0242] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 450 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht, wird die Typ 6c-Betankungstechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 1- bzw. zur Typ 7-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 1- bzw. Typ 7-Tankstelle ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die vorher installierte Typ 6c-Betankungstechnik an einem anderen Standort neu installiert (vgl. **Figur 10**). Ob die Typ 1- oder die Typ 7-Tankstellentechnik eingesetzt wird, hängt davon ab, ob ein Anschluss an das nationale Erdgasleitungsnetz gelegt werden kann oder nicht. Ist dies möglich, wird die Typ 1-Tankstelle errichtet, ansonsten die Typ 7-Tankstelle.

[0243] Das Ausführungsbeispiel der **Figur 11** zeigt eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens zur standortspezifischen Auswahl der Tankstellentechnik bzw. eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Ausbaus einer Gastankstelle mit nochmals geänderten Schwellenwerten. Dargestellt sind nur die für die Thematik wesentlichen Verfahrensschritte bzw. Ausbaustufen. Wenn im Bereich eines Standortes neue Nachfrager hinzukommen und deren Zahl zusammen mit der Zahl der an diesem Standort bereits vorhandenen Nachfrager kleiner als der Schwellenwert von 25 Pkw-Äquivalenten (PÄ) bleibt, werden diese neuen Nachfrager wie die alten mit Gastankstellen des Typs 2 oder des Typs 3 ausgestattet. Für den Fall, dass einer oder mehrere der neuen Nachfrager über keinen Gasanschluss verfügen oder sie die aus dem Betrieb der Heimtankstellen resultierenden Stromkosten nicht tragen wollen, müssen diese Nachfrager solange auf eine nahe Versorgung mit dem/den Gaskraftstoffen warten, bis die Zahl der Nachfrager an dem bewussten Standort den Schwellenwert von 25 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht hat und eine öffentliche Gastankstelle in Betrieb genommen ist.

[0244] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 25 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht, wird an dem betroffenen Standort an einem geeigneten öffentlichen Ort eine Typ 6a- oder eine Typ 4- Betankungstechnik errichtet. Sobald diese in Betrieb gegangen ist, werden die (im schlechtesten Fall 24) vorher installierten Gastankstellen des Typs 2 demontiert und an einem oder mehreren anderen Standorten neu installiert.

[0245] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfra-

ge von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 75 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht, wird die Typ 6a-Tankstellentechnik bzw. die Typ 4-Tankstellentechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 6b-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 6b-Tankstelle ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die vorher installierte Typ 6a-Tankstellentechnik an einem anderen Standort neu installiert. Alternativ kann der Typ 6a durch den Typ 4 ersetzt werden, es sei denn, der Typ 4 war bereits installiert. In letzterem Fall bleibt alles beim Alten.

[0246] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 200 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht, wird die Typ 6b-Tankstellentechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 6c-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 6c-Tankstelle ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die vorher installierte Typ 6b-Tankstellentechnik an einem anderen Standort neu installiert.

[0247] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 600 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht und eine Anbindung an das nationale Erdgasleitungsnetz möglich ist, wird die Typ 6c-Tankstellentechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 1-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 1-Tankstelle ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die Typ 6c-Tankstellentechnik an einem anderen Standort neu installiert. Wenn keine Anbindung an das nationale Erdgasleitungsnetz möglich ist, kann die Typ 6c-Tankstellentechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 7-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 7-Tankstelle ersetzt werden.

[0248] Das Ausführungsbeispiel der **Figur 12** zeigt eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens zur standortspezifischen Auswahl der Tankstellentechnik bzw. eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Ausbaus einer Gastankstelle mit nochmals geänderten Schwellenwerten. Dargestellt sind nur die für die Thematik wesentlichen Verfahrensschritte. Wenn im Bereich eines Standorts neue Nachfrager hinzukommen und deren Zahl zusammen mit der Zahl der an diesem Standort bereits vorhandenen Nachfrager kleiner als der Schwellenwert von 50 Pkw-Äquivalenten (PÄ) bleibt, werden diese neuen Nachfrager wie die alten mit Gastankstellen des Typs 2 oder des Typs 3 ausgestattet. Für den Fall, dass einer oder mehrere der neuen Nachfrager über keinen Gasanschluss verfügen oder sie die aus dem Betrieb der Heim-/Flottentankstellen resultierenden Stromkosten nicht tragen wollen, müssen diese Nachfrager solange auf eine nahe Versorgung mit dem/den Gaskraftstoffen warten, bis die Zahl der Nachfrager an dem bewussten Standort den Schwellenwert von 50 Pkw-Äquivalenten erreicht hat und eine öffentliche Gastankstelle in Betrieb genommen ist.

[0249] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 50 Pkw-Äquivalenten erreicht, wird an dem betroffenen

Standort an einem geeigneten öffentlichen Ort eine Typ 6a- oder eine Typ 4-Tankstelle errichtet. Sobald diese in Betrieb gegangen ist, werden die (im schlechtesten Fall 49) vorher installierten Gastankstellen des Typs 2 demontiert und an einem oder mehreren anderen Standorten neu installiert.

[0250] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 100 Pkw-Äquivalenten erreicht, wird die Typ 6a-Tankstellentechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 6b-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 6b-Tankstelle ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die Typ 6a-Tankstellentechnik an einem anderen Standort neu installiert. Alternativ kann die Typ 6a-Tankstellentechnik wie unter Figur 9 beschrieben auch durch eine Typ 4-Tankstellentechnik ersetzt werden. Wenn bereits eine Typ 4-Tankstelle installiert war, bleibt alles beim Alten.

[0251] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 250 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht, wird die Typ 6b-Tankstellentechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 6c-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 6c- oder durch eine Typ 4-Tankstelle ersetzt. Wenn bereits eine Typ 4-Tankstelle installiert war, bleibt alles beim Alten. Im Fall der Ersetzung wird die vorher installierte Typ 6b-Tankstellentechnik an einem anderen Standort neu installiert.

[0252] Wenn die standortspezifische Gesamtnachfrage von neuen und alten Kunden die Absatzmenge von 375 Pkw-Äquivalenten (PÄ) erreicht, wird die Typ 6c-Tankstellentechnik der betroffenen Gastankstelle entweder zur Typ 1-Tankstelle aufgerüstet oder demontiert und durch eine Typ 1- oder durch eine Typ 7-Tankstelle ersetzt. Im Fall der Ersetzung wird die vorher installierte Typ 6c-Tankstellentechnik an einem anderen Standort neu installiert.

[0253] Die diversen Schwellenwerte in den **Figuren 9 bis 12** sollen zeigen, dass jede Schwellenwert-Kombination möglich ist, solange die Schwellenwerte nur aufsteigend sind. Jede Schwellenwert-Kombination mit aufsteigenden Schwellenwerten soll deshalb geschützt werden. Vergleiche auch die Ansprüche 1 und 18, aus denen hervorgeht, dass der Schutz bereits für eine absatzmengenbedingte Anpassung der Tankstellentechnik beansprucht wird, unabhängig davon, welche Ausprägung die Schwellenwerte haben.

[0254] Im nachfolgenden werden bevorzugte Ausführungsformen 1-35 der Erfindung beschrieben. Diese sind unabhängig von ihren Bezugnahmen auf einzelne Ausführungsformen miteinander kombinierbar.

1. Verfahren zum dynamisierten, schrittweisen Aufbau und Betrieb einer Gastankstellen-Infrastruktur an mindestens einem Standort (Grundstück, Autobahnteilstück, Autobahnraststätte, Autobahntankstelle, Straßenabschnitt, Straße, Block, Stadtteil, Ort, Dorf) mit mindestens einer mit Verdichtertechnik

ausgestatteten Gastankstelle und/oder mit mindestens einer aus einer verdichterlosen Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems bestehenden Gastankstelle zur aufwandsoptimierten physischen Distribution mindestens eines gasförmigen Gaskraftstoffes,

dadurch gekennzeichnet, dass

an einem ersten Standort in einem ersten Schritt erstmals eine Betankungstechnik (Ausbaustufe 1) installiert und betrieben wird, deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe maximal 4.800 (viertausendachthundert) Liter beträgt, vorzugsweise maximal 2.900 (zweitausendneun-hundert) Liter, besonders vorzugsweise maximal 960 (neunhundertsechzig) Liter und insbesondere maximal 640 (sechshundertvierzig) Liter und deren mindestens ein Verdichter (Booster, Kompressor) im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle maximal 20 Nm³/h auf mindestens 200 bar verdichten kann, vorzugsweise maximal 15 Nm³/h, besonders vorzugsweise maximal 10 Nm³/h und insbesondere maximal 5 Nm³/h,

an diesem ersten Standort oder an einem zweiten Standort im Umkreis von 5.000 m Luftlinie um diesen ersten Standort herum die im ersten Schritt installierte Betankungstechnik einer Gastankstelle (Ausbaustufe 1) in einem zweiten Schritt abgelöst, ergänzt oder erweitert wird durch eine größere Betankungstechnik (Ausbaustufe 2), deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe maximal 9.600 (neuntausendsechshundert) Liter beträgt, vorzugsweise maximal 4.800 (viertausendachthundert) Liter, besonders vorzugsweise maximal 1.920 (eintausendneunhundertzwanzig) Liter und insbesondere maximal 960 (sechshundertvierzig) Liter und deren mindestens ein Verdichter (Booster, Kompressor) im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle maximal 50 Nm³/h auf mindestens 250 bar verdichten kann, vorzugsweise maximal 30 Nm³/h, besonders vorzugsweise maximal 20 Nm³/h und insbesondere maximal 10 Nm³/h,

die im zweiten Schritt installierte Betankungstechnik (Ausbaustufe 2) einer Gastankstelle in einem dritten Schritt am selben zweiten Standort oder im Umkreis von 5.000 m Luftlinie um diesen zweiten Standort herum oder am ersten Standort abgelöst, ergänzt oder erweitert wird durch eine noch größere Betankungstechnik (Ausbaustufe 3), deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe höchstens 14.400 (vierzehntausendvierhundert) Liter beträgt, vorzugsweise höchstens 7.200 (siebentausendzweihundert) Liter, besonders vorzugsweise höchstens 2.000 (zweitausend) Liter und insbesondere höchstens 1.500 (eintausendfünfhundert)

Liter und deren mindestens ein Verdichter (Booster, Kompressor) im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle höchstens 150 Nm³/h auf mindestens 250 bar verdichten kann, vorzugsweise höchstens 100 Nm³/h, besonders vorzugsweise höchstens 75 Nm³/h und insbesondere höchstens 50 Nm³/h.

2. Verfahren nach Ausführungsform 1, bei dem an einem Standort der zweite Verfahrensschritt ausgelassen wird oder bei dem zwischen dem ersten und zweiten Verfahrensschritt ceteris paribus mindestens ein weiterer Verfahrensschritt mit größerer Betankungstechnik (größer hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassenstrom des Verdichters, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand) als im Verfahrensschritt eins aber kleinerer Betankungstechnik (kleiner hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassenstrom des Verdichters, maximales Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand) als im Verfahrensschritt zwei eingeschoben wird oder bei dem zwischen dem zweiten und dritten Verfahrensschritt ceteris paribus mindestens ein weiterer Verfahrensschritt mit größerer Betankungstechnik als im Verfahrensschritt zwei aber kleinerer Betankungstechnik als im Verfahrensschritt drei eingeschoben wird.

3. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem die Gasspeichertanks (Gasspeicherflaschen) der Gasspeicheranlage der Gastankstelle parallel geschaltet sind und/oder mit mindestens 4 Druckstufen betrieben werden, vorzugsweise mit mindestens 6 Druckstufen, besonders vorzugsweise mit mindestens 8 Druckstufen und insbesondere mit mindestens 12 Druckstufen.

4. Verfahren nach einem der Ausführungsformen 1 bis 3, bei dem mindestens einer der Gasspeichertanks (mindestens eine der Gasspeicherflaschen) der Gasspeicheranlage einer Gastankstelle mit mehr als 245 bar druckbeaufschlagt wird, vorzugsweise mit mehr als 295 bar, besonders vorzugsweise mit mehr als 345 bar und insbesondere mit mehr als 395 bar, oder bei der der Ausbau auf die nächste Ausbaustufe nach weniger als 15 Jahren ab Inbetriebnahme der vorherigen Ausbaustufe erfolgt, vorzugsweise nach weniger als 8 Jahren, besonders vorzugsweise nach weniger als 4 Jahren und insbesondere nach weniger als 2 Jahren.

5. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem an einem Standort verdichterlose Betan-

kungstechnik durch Betankungstechnik mit Verdichter (Kompressor, Booster) ersetzt oder ergänzt wird oder bei dem Betankungstechnik mit Verdichter durch verdichterlose Betankungstechnik ersetzt oder ergänzt wird.

6. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem die jährlich abgesetzte Energiemenge einer Gastankstelle im ersten Verfahrensschritt weniger als 865.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 649.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 433.000 kWh_{Hi} und insbesondere weniger als 217.000 kWh_{Hi} oder bei dem die in einem Kalendermonat abgesetzte Energiemenge einer Gastankstelle im ersten Verfahrensschritt weniger als 73.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 55.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 37.000 kWh_{Hi} und insbesondere weniger als 18.000 kWh_{Hi}.

7. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem die jährlich abgesetzte Energiemenge einer Gastankstelle im zweiten Verfahrensschritt oder in einem weiteren, zwischen den zweiten und den dritten Verfahrensschritt eingeschobenen Verfahrensschritt weniger als 1.600.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 1.300.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 900.000 kWh_{Hi} und insbesondere weniger als 500.000 kWh_{Hi} oder bei dem die in einem Kalendermonat abgesetzte Energiemenge einer Gastankstelle im zweiten Verfahrensschritt oder in einem weiteren, zwischen den zweiten und den dritten eingeschobenen Verfahrensschritt weniger als 140.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 110.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 75.000 kWh_{Hi} und insbesondere weniger als 36.000 kWh_{Hi}.

8. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem die Gasspeicheranlage der Gastankstelle in voll gefülltem Zustand im Verfahrensschritt eins oder zwei oder in einem dazwischengeschobenen Verfahrensschritt in einem oder in mehreren Betankungsvorgängen unmittelbar hintereinander maximal 360 Nm³ gasförmigen Gaskraftstoff abzugeben in der Lage ist, vorzugsweise maximal 240 Nm³, besonders vorzugsweise maximal 120 Nm³ und insbesondere maximal 90 Nm³.

9. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem die abgelöste bzw. ersetzte Betankungstechnik an einem anderen Standort von einer anderen Gastankstelle zur Gänze oder mindestens zum Teil weiterverwendet wird oder bei dem die Gasspeicheranlage der Gastankstelle aus weniger als 50 Standard-Druckgasflaschen besteht, vorzugsweise aus weniger als 38 Standard-Druckgasflaschen, besonders vorzugsweise aus weniger als 25 Standard-

Druckgasflaschen und insbesondere aus weniger als 13 Standard-Druckgasflaschen.

10. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle der Verdichter eine monatliche Laufzeit von mehr als 20 Betriebsstunden aufweist, vorzugsweise von mehr als 90 Betriebsstunden, besonders vorzugsweise von mehr als 180 Betriebsstunden und insbesondere von mehr als 360 Betriebsstunden oder bei dem im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle die Gasspeicheranlage öfter als 1 mal pro drei Monate wiederbefüllt wird, vorzugsweise öfter als 1 mal pro Monat, besonders vorzugsweise öfter als 2 mal pro Monat und insbesondere öfter als 4 mal pro Monat.

11. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle die in einem Verfahrensschritt anfänglich installierte Verdichterleistung hinsichtlich des Merkmals maximaler Gasmassenstrom des Verdichters und/oder hinsichtlich des Merkmals maximales Druckniveau des Verdichters nachträglich verringert wird oder bei dem im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle die in einem Verfahrensschritt anfänglich installierte Gasspeicherkapazität hinsichtlich des Merkmals geometrisches Volumen und/oder hinsichtlich des Merkmals maximales Druckniveau der komplett gefüllten Gasspeicheranlage nachträglich verringert wird.

12. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem mehrere dezentrale Gastankstellen eines vorherigen Verfahrensschrittes durch mindestens eine zentrale Gastankstelle eines nachfolgenden Verfahrensschrittes ersetzt, abgelöst oder ergänzt werden.

13. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem an einem Standort im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle mindestens ein Gasspeichertank (mindestens eine Druckgasflasche) nicht wiederbefüllt sondern durch mindestens einen gefüllten Gasspeichertank (mindestens eine gefüllte Druckgasflasche) ersetzt wird oder bei dem die Gastankstelle mobil ausgeführt ist.

14. Verfahren nach Ausführungsform 1 und/oder 2, bei dem an einem Standort die größere Betankungstechnik eines nachfolgenden Verfahrensschrittes hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassenstrom des Verdichters, maximales Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand um mindestens 10% größer ausfällt als im vorhergehenden Verfahrensschritt, vorzugsweise um

mindestens 50%, besonders vorzugsweise um mindestens 100% und insbesondere um mindestens 200%.

15. Verfahren nach einem der Ausführungsformen 1 bis 14, bei dem die mindestens eine Gastankstelle öffentlich zugänglich ist und/oder personallos betrieben wird.

16. Verfahren nach einem der Ausführungsformen 1 bis 15, bei dem im Fall einer Mehrzahl von distribuierten Gaskraftstoffen, diese sich bei identischer chemischer Zusammensetzung nur virtuell voneinander unterscheiden oder diese lediglich unterschiedliche Bezeichnungen und/oder Markennamen aufweisen.

17. Verfahren nach einem der Ausführungsformen 1 bis 14, bei dem ein gegenüber dem fossilen Kraftstoff Benzin um mindestens 50% treibhausgasreduzierter Gaskraftstoff distribuiert wird, vorzugsweise ein um mindestens 85 % treibhausgasreduzierter Gaskraftstoff, besonders vorzugsweise ein um mindestens 100% treibhausgasreduzierter Gaskraftstoff und insbesondere ein um mindestens 105 % treibhausgasreduzierter Gaskraftstoff, wobei die Treibhausgasbelastung des jeweiligen Gaskraftstoffes nach der Methode der Lebenszyklusanalyse LCA ermittelt wird.

18. Gastankstelle zur aufwandsoptimierten physischen Distribution mindestens eines gasförmigen Gaskraftstoffes an mindestens einem Standort (Grundstück, Autobahnteilstück, Autobahnraststätte, Autobahntankstelle, Straßenabschnitt, Straße, Block, Stadtteil, Ort, Dorf) umfassend mindestens einen Verdichter (Kompressor, Booster) oder eine verdichterlose Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems,

dadurch gekennzeichnet, dass

für diese Gastankstelle an einem ersten Standort in einer ersten Ausbaustufe eine Betankungstechnik (Ausbaustufe 1) installiert und betrieben wird, deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe maximal 4.800 (viertausendachthundert) Liter beträgt, vorzugsweise maximal 2.900 (zweitausendneunhundert) Liter, besonders vorzugsweise maximal 960 (neunhundertsechzig) Liter und insbesondere maximal 640 (sechshundertvierzig) Liter und deren mindestens ein Verdichter (Booster, Kompressor) im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle maximal 20 Nm³/h auf mindestens 200 bar verdichten kann, vorzugsweise maximal 15 Nm³/h, besonders vorzugsweise maximal 10 Nm³/h und insbesondere maximal 5 Nm³/h,

die an diesem ersten Standort installierte Betan-

kungstechnik der Gastankstelle (Ausbaustufe 1) an diesem ersten Standort oder an einem zweiten Standort im Umkreis von 5.000 m Luftlinie um diesen ersten Standort herum in einer zweiten Ausbaustufe abgelöst, ergänzt oder erweitert wird durch eine größere Betankungstechnik (Ausbaustufe 2), deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe maximal 9.600 (neuntausendsechshundert) Liter beträgt, vorzugsweise maximal 4.800 (viertausendachthundert) Liter, besonders vorzugsweise maximal 1.920 (eintausendneunhundertzwanzig) Liter und insbesondere maximal 960 (sechshundertvierzig) Liter und deren mindestens ein Verdichter (Booster, Kompressor) im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle maximal 50 Nm³/h auf mindestens 250 bar verdichten kann, vorzugsweise maximal 30 Nm³/h, besonders vorzugsweise maximal 20 Nm³/h und insbesondere maximal 10 Nm³/h,

abgelöste, ergänzte oder erweiterte Betankungstechnik (Ausbaustufe 2) der Gastankstelle am selben zweiten Standort oder im Umkreis von 5.000 m Luftlinie um diesen zweiten Standort herum oder am ersten Standort in einer dritten Ausbaustufe abgelöst, ergänzt oder erweitert wird durch eine noch größere Betankungstechnik (Ausbaustufe 3), deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe höchstens 14.400 (vierzehntausendvierhundert) Liter beträgt, vorzugsweise höchstens 7.200 (siebentausendzweihundert) Liter, besonders vorzugsweise höchstens 2.000 (zweitausend) Liter und insbesondere höchstens 1.500 (eintausendfünfhundert) Liter und deren mindestens ein Verdichter (Booster, Kompressor) im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle höchstens 150 Nm³/h auf mindestens 250 bar verdichten kann, vorzugsweise höchstens 100 Nm³/h, besonders vorzugsweise höchstens 75 Nm³/h und insbesondere höchstens 50 Nm³/h.

19. Gastankstelle nach Ausführungsform 18, bei deren Ausbau die Ausbaustufe 2 ausgelassen wird oder bei deren Erweiterung zwischen der ersten und zweiten Ausbaustufe ceteris paribus mindestens eine weitere Ausbaustufe mit größerer Betankungstechnik (größer hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassenstrom des Verdichters, maximales Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand) als in der Ausbaustufe 1 aber kleinerer Betankungstechnik (kleiner hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassenstrom des Verdichters, maximales Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der

Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand) als in der Ausbaustufe 2 eingeschoben wird oder bei deren Erweiterung zwischen der zweiten und dritten Ausbaustufe ceteris paribus mindestens eine weitere Ausbaustufe mit größerer Betankungstechnik als in der Ausbaustufe 2 aber kleinerer Betankungstechnik als in der Ausbaustufe 3 eingeschoben wird.

20. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der die Gasspeichertanks (Gasspeicherflaschen) der Gasspeicheranlage parallel geschaltet sind und/oder mit mindestens 4 Druckstufen betrieben werden, vorzugsweise mit mindestens 6 Druckstufen, besonders vorzugsweise mit mindestens 8 Druckstufen und insbesondere mit mindestens 12 Druckstufen.

21. Gastankstelle nach einem der Ausführungsformen 18 bis 20, bei der mindestens einer der Gasspeichertanks (mindestens eine der Gasspeicherflaschen) der Gasspeicheranlage mit mehr als 245 bar druckbeaufschlagt wird, vorzugsweise mit mehr als 295 bar, besonders vorzugsweise mit mehr als 345 bar und insbesondere mit mehr als 395 bar, oder bei der der Ausbau auf die nächste Ausbaustufe nach weniger als 15 Jahren ab Inbetriebnahme der vorherigen Ausbaustufe erfolgt, vorzugsweise nach weniger als 8 Jahren, besonders vorzugsweise nach weniger als 4 Jahren und insbesondere nach weniger als 2 Jahren.

22. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der verdichterlose Betankungstechnik durch Betankungstechnik mit Verdichter (Kompressor, Booster) ersetzt oder ergänzt wird oder bei dem Betankungstechnik mit Verdichter durch verdichterlose Betankungstechnik ersetzt oder ergänzt wird.

23. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei dem die jährlich abgesetzte Energiemenge in der ersten Ausbaustufe weniger als 865.000 kWh_{H₂} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 649.000 kWh_{H₂}, besonders vorzugsweise weniger als 433.000 kWh_{H₂} und insbesondere weniger als 217.000 kWh_{H₂} oder bei der die in einem Kalendermonat abgesetzte Energiemenge in der ersten Ausbaustufe weniger als 73.000 kWh_{H₂} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 55.000 kWh_{H₂}, besonders vorzugsweise weniger als 37.000 kWh_{H₂} und insbesondere weniger als 18.000 kWh_{H₂}.

24. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der die jährlich abgesetzte Energiemenge in der zweiten Ausbaustufe oder in einer weiteren, zwischen der zweiten und der dritten Ausbaustufe eingeschobenen Ausbaustufe weniger als 1.600.000 kWh_{H₂} beträgt, vorzugsweise weniger als

weniger als 1.300.000 kWh_{H₂}, besonders vorzugsweise weniger als 900.000 kWh_{H₂} und insbesondere weniger als 500.000 kWh_{H₂} oder bei der die in einem Kalendermonat abgesetzte Energiemenge in der zweiten Ausbaustufe oder in einer weiteren, zwischen der zweiten und der dritten Ausbaustufe eingeschobenen Ausbaustufe weniger als 140.000 kWh_{H₂} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 110.000 kWh_{H₂}, besonders vorzugsweise weniger als 75.000 kWh_{H₂} und insbesondere weniger als 36.000 kWh_{H₂}.

25. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der die Gasspeicheranlage in voll gefülltem Zustand in der Ausbaustufe 1 oder 2 oder in einer dazwischengeschobenen Ausbaustufe in einem oder in mehreren Betankungsvorgängen unmittelbar hintereinander maximal 360 Nm³ gasförmigen Gaskraftstoff abzugeben in der Lage ist, vorzugsweise maximal 240 Nm³, besonders vorzugsweise maximal 120 Nm³ und insbesondere maximal 90 Nm³.

26. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der die abgelöste bzw. ersetzte Betankungstechnik an einem anderen Standort von einer anderen Gastankstelle zur Gänze oder mindestens zum Teil weiterverwendet wird oder bei der die Gasspeicheranlage aus weniger als 50 Standard-Druckgasflaschen besteht, vorzugsweise aus weniger als 38 Standard-Druckgasflaschen, besonders vorzugsweise aus weniger als 25 Standard-Druckgasflaschen und insbesondere aus weniger als 13 Standard-Druckgasflaschen.

27. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der im Fall der Installation mindestens eines Verdichters dieser eine monatliche Laufzeit von mehr als 20 Betriebsstunden aufweist, vorzugsweise von mehr als 90 Betriebsstunden, besonders vorzugsweise von mehr als 180 Betriebsstunden und insbesondere von mehr als 360 Betriebsstunden oder bei der im Fall keiner Installation eines Verdichters (verdichterlose Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems) die Wiederbefüllung der Gasspeicheranlage öfter als 1 mal pro drei Monate erfolgt, vorzugsweise öfter als 1 mal pro Monat, besonders vorzugsweise öfter als 2 mal pro Monat und insbesondere öfter als 4 mal pro Monat.

28. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der im Fall der Installation mindestens eines Verdichters die auf einer beliebigen Ausbaustufe anfänglich installierte Verdichterleistung hinsichtlich des Merkmals maximaler Gasmassenstrom des Verdichters und/oder hinsichtlich des Merkmals maximales Druckniveau des Verdichters nachträglich verringert wird oder bei der im Fall kei-

ner Installation eines Verdichters (verdichterlose Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems) die auf einer beliebigen Ausbaustufe anfänglich installierte Gasspeicherkapazität hinsichtlich des Merkmals geometrisches Volumen und / oder hinsichtlich des Merkmals maximales Druckniveau der komplett gefüllten Gasspeicheranlage nachträglich verringert wird.

29. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der mehrere dezentrale Gastankstellen einer vorherigen Ausbaustufe durch mindestens eine zentrale Gastankstelle einer nachfolgenden Ausbaustufe ersetzt, abgelöst oder ergänzt werden.

30. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der im Fall einer verdichterlosen Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems mindestens ein Gasspeichertank (mindestens eine Druckgasflasche) nicht wiederbefüllt sondern durch mindestens einen gefüllten Gasspeichertank (mindestens eine gefüllte Druckgasflasche) ersetzt wird oder bei der die gesamte Betankungstechnik (also die gesamte Gastankstelle) mobil ausgeführt ist

31. Gastankstelle nach Ausführungsform 18 und/oder 19, bei der die größere Betankungstechnik einer nachfolgenden Ausbaustufe hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassestrom des Verdichters, maximales Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand um mindestens 10% größer ausfällt als in der vorhergehenden Ausbaustufe, vorzugsweise um mindestens 50%, besonders vorzugsweise um mindestens 100% und insbesondere um mindestens 200%.

32. Gastankstelle nach einem der Ausführungsformen 18 bis 31, bei der eine öffentliche Nutzung möglich ist und/oder die personallos betrieben wird.

33. Gastankstelle nach einem der Ausführungsformen 18 bis 32, bei der im Fall einer Mehrzahl von distribuierten Gaskraftstoffen, diese sich bei identischer chemischer Zusammensetzung nur virtuell voneinander unterscheiden oder diese lediglich unterschiedliche Bezeichnungen und/oder Markennamen aufweisen.

34. Gastankstelle nach einem der Ausführungsformen 18 bis 33, die einen gegenüber dem fossilen Kraftstoff Benzin um mindestens 50% treibhausgasreduzierten Gaskraftstoff distribuiert, vorzugsweise einen um mindestens 85 % treibhausgasreduzierten Gaskraftstoff, besonders vorzugsweise einen um mindestens 100% treibhausgasreduzierten Gas-

kraftstoff und insbesondere einen um mindestens 105 % treibhausgasreduzierten Gaskraftstoff, wobei die Treibhausgasbelastung des jeweiligen Gaskraftstoffes nach der Methode der Lebenszyklusanalyse LCA ermittelt wird.

35. Mehrzahl von Gastankstellen nach einem der Ausführungsformen 18 bis 34, die parallel zueinander oder unter zeitlichem Versatz errichtet, ausgebaut und betrieben werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum dynamisierten, schrittweisen Aufbau und Betrieb einer Gastankstellen-Infrastruktur an mindestens einem Standort mit mindestens einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle und/oder mit mindestens einer aus einer verdichterlosen Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems bestehenden Gastankstelle zur aufwandsoptimierten physischen Distribution mindestens eines gasförmigen Gaskraftstoffes,
dadurch gekennzeichnet, dass
 an einem ersten Standort in einem ersten Schritt erstmals eine Betankungstechnik (Ausbaustufe 1) installiert und betrieben wird, deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe maximal 4.800 Liter beträgt, vorzugsweise maximal 2.900 Liter, besonders vorzugsweise maximal 960 Liter und insbesondere maximal 640 Liter und deren mindestens ein Verdichter im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle maximal 20 Nm³/h auf mindestens 200 bar verdichten kann, vorzugsweise maximal 15 Nm³/h, besonders vorzugsweise maximal 10 Nm³/h und insbesondere maximal 5 Nm³/h,
 an diesem ersten Standort oder an einem zweiten Standort im Umkreis von 5.000 m Luftlinie um diesen ersten Standort herum die im ersten Schritt installierte Betankungstechnik einer Gastankstelle (Ausbaustufe 1) in einem zweiten Schritt abgelöst, ergänzt oder erweitert wird durch eine größere Betankungstechnik (Ausbaustufe 2), deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe maximal 9.600 Liter beträgt, vorzugsweise maximal 4.800 Liter, besonders vorzugsweise maximal 1.920 Liter und insbesondere maximal 960 Liter und deren mindestens ein Verdichter im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle maximal 50 Nm³/h auf mindestens 250 bar verdichten kann, vorzugsweise maximal 30 Nm³/h, besonders vorzugsweise maximal 20 Nm³/h und insbesondere maximal 10 Nm³/h,
 die im zweiten Schritt installierte Betankungstechnik (Ausbaustufe 2) einer Gastankstelle in einem dritten

- Schritt am selben zweiten Standort oder im Umkreis von 5.000 m Luftlinie um diesen zweiten Standort herum oder am ersten Standort abgelöst, ergänzt oder erweitert wird durch eine noch größere Betankungstechnik (Ausbaustufe 3), deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe höchstens 14.400 Liter beträgt, vorzugsweise höchstens 7.200 Liter, besonders vorzugsweise höchstens 2.000 Liter und insbesondere höchstens 1.500 Liter und deren mindestens ein Verdichter im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle höchstens 150 Nm³/h auf mindestens 250 bar verdichten kann, vorzugsweise höchstens 100 Nm³/h, besonders vorzugsweise höchstens 75 Nm³/h und insbesondere höchstens 50 Nm³/h.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem an einem Standort der zweite Verfahrensschritt ausgelassen wird oder bei dem zwischen dem ersten und zweiten Verfahrensschritt ceteris paribus mindestens ein weiterer Verfahrensschritt mit größerer Betankungstechnik (größer hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassenstrom des Verdichters, maximales Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand) als im Verfahrensschritt eins aber kleinerer Betankungstechnik (kleiner hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassenstrom des Verdichters, maximales Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand) als im Verfahrensschritt zwei eingeschoben wird oder bei dem zwischen dem zweiten und dritten Verfahrensschritt ceteris paribus mindestens ein weiterer Verfahrensschritt mit größerer Betankungstechnik als im Verfahrensschritt zwei aber kleinerer Betankungstechnik als im Verfahrensschritt drei eingeschoben wird.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem die Gasspeichertanks (Gasspeicherflaschen) der Gasspeicheranlage der Gastankstelle parallel geschaltet sind und/oder mit mindestens 4 Druckstufen betrieben werden, vorzugsweise mit mindestens 6 Druckstufen, besonders vorzugsweise mit mindestens 8 Druckstufen und insbesondere mit mindestens 12 Druckstufen.
 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem mindestens einer der Gasspeichertanks (mindestens eine der Gasspeicherflaschen) der Gasspeicheranlage einer Gastankstelle mit mehr als 245 bar druckbeaufschlagt wird, vorzugsweise mit mehr als 295 bar, besonders vorzugsweise mit mehr als 345 bar und insbesondere mit mehr als 395 bar, oder bei der der Ausbau auf die nächste Ausbaustufe nach weniger als 15 Jahren ab Inbetriebnahme der vorherigen Ausbaustufe erfolgt, vorzugsweise nach weniger als 8 Jahren, besonders vorzugsweise nach weniger als 4 Jahren und insbesondere nach weniger als 2 Jahren.
 5. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem an einem Standort verdichterlose Betankungstechnik durch Betankungstechnik mit Verdichter ersetzt oder ergänzt wird oder bei dem Betankungstechnik mit Verdichter durch verdichterlose Betankungstechnik ersetzt oder ergänzt wird.
 6. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem die jährlich abgesetzte Energiemenge einer Gastankstelle im ersten Verfahrensschritt weniger als 865.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 649.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 433.000 kWh_{Hi} und insbesondere weniger als 217.000 kWh_{Hi} oder bei dem die in einem Kalendermonat abgesetzte Energiemenge einer Gastankstelle im ersten Verfahrensschritt weniger als 73.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 55.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 37.000 kWh_{Hi} und insbesondere weniger als 18.000 kWh_{Hi}.
 7. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem die jährlich abgesetzte Energiemenge einer Gastankstelle im zweiten Verfahrensschritt oder in einem weiteren, zwischen den zweiten und den dritten Verfahrensschritt eingeschobenen Verfahrensschritt weniger als 1.600.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 1.300.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 900.000 kWh_{Hi} und insbesondere weniger als 500.000 kWh_{Hi} oder bei dem die in einem Kalendermonat abgesetzte Energiemenge einer Gastankstelle im zweiten Verfahrensschritt oder in einem weiteren, zwischen den zweiten und den dritten eingeschobenen Verfahrensschritt weniger als 140.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 110.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 75.000 kWh_{Hi} und insbesondere weniger als 36.000 kWh_{Hi}.
 8. Gastankstelle zur aufwandsoptimierten physischen Distribution mindestens eines gasförmigen Gaskraftstoffes an mindestens einem Standort umfassend mindestens einen Verdichter oder eine verdichterlose Tochter-Station eines Mutter-Tochter-Systems, **dadurch gekennzeichnet, dass** für diese Gastankstelle an einem ersten Standort in einer ersten Ausbaustufe eine Betankungstechnik (Ausbaustufe 1) installiert und betrieben wird, deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten

Gaskraftstoffe maximal 4.800 (viertausendachthundert) Liter beträgt, vorzugsweise maximal 2.900 (zweitausendneunhundert) Liter, besonders vorzugsweise maximal 960 (neunhundertsechzig) Liter und insbesondere maximal 640 (sechshundertvierzig) Liter und deren mindestens ein Verdichter (Booster, Kompressor) im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle maximal 20 Nm³/h auf mindestens 200 bar verdichten kann, vorzugsweise maximal 15 Nm³/h, besonders vorzugsweise maximal 10 Nm³/h und insbesondere maximal 5 Nm³/h,

die an diesem ersten Standort installierte Betankungstechnik der Gastankstelle (Ausbaustufe 1) an diesem ersten Standort oder an einem zweiten Standort im Umkreis von 5.000 m Luftlinie um diesen ersten Standort herum in einer zweiten Ausbaustufe abgelöst, ergänzt oder erweitert wird durch eine größere Betankungstechnik (Ausbaustufe 2), deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe maximal 9.600 (neuntausendsechshundert) Liter beträgt, vorzugsweise maximal 4.800 Liter, besonders vorzugsweise maximal 1.920 Liter und insbesondere maximal 960 Liter und deren mindestens ein Verdichter (Booster, Kompressor) im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle maximal 50 Nm³/h auf mindestens 250 bar verdichten kann, vorzugsweise maximal 30 Nm³/h, besonders vorzugsweise maximal 20 Nm³/h und insbesondere maximal 10 Nm³/h, abgelöste, ergänzte oder erweiterte Betankungstechnik (Ausbaustufe 2) der Gastankstelle am selben zweiten Standort oder im Umkreis von 5.000 m Luftlinie um diesen zweiten Standort herum oder am ersten Standort in einer dritten Ausbaustufe abgelöst, ergänzt oder erweitert wird durch eine noch größere Betankungstechnik (Ausbaustufe 3), deren geometrische Gasspeicherkapazität im Fall einer verdichterlosen Gastankstelle für alle distribuierten Gaskraftstoffe höchstens 14.400 Liter beträgt, vorzugsweise höchstens 7.200 Liter, besonders vorzugsweise höchstens 2.000 Liter und insbesondere höchstens 1.500 Liter und deren mindestens ein Verdichter (Booster, Kompressor) im Fall einer mit Verdichtertechnik ausgestatteten Gastankstelle höchstens 150 Nm³/h auf mindestens 250 bar verdichten kann, vorzugsweise höchstens 100 Nm³/h, besonders vorzugsweise höchstens 75 Nm³/h und insbesondere höchstens 50 Nm³/h.

9. Gastankstelle nach Anspruch 8, bei deren Ausbau die Ausbaustufe 2 ausgelassen wird oder bei deren Erweiterung zwischen der ersten und zweiten Ausbaustufe ceteris paribus mindestens eine weitere Ausbaustufe mit größerer Betankungstechnik (größer hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassenstrom des Verdichters, maxima-

les Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand) als in der Ausbaustufe 1 aber kleinerer Betankungstechnik (kleiner hinsichtlich mindestens eines der Merkmale maximaler Gasmassenstrom des Verdichters, maximales Druckniveau des Verdichters, geometrisches Volumen der Gasspeicheranlage, maximales Druckniveau der Gasspeicheranlage im voll befüllten Zustand) als in der Ausbaustufe 2 eingeschoben wird oder bei deren Erweiterung zwischen der zweiten und dritten Ausbaustufe ceteris paribus mindestens eine weitere Ausbaustufe mit größerer Betankungstechnik als in der Ausbaustufe 2 aber kleinerer Betankungstechnik als in der Ausbaustufe 3 eingeschoben wird.

10. Gastankstelle nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, bei der die Gasspeichertanks (Gasspeicherflaschen) der Gasspeicheranlage parallel geschaltet sind und/oder mit mindestens 4 Druckstufen betrieben werden, vorzugsweise mit mindestens 6 Druckstufen, besonders vorzugsweise mit mindestens 8 Druckstufen und insbesondere mit mindestens 12 Druckstufen.
11. Gastankstelle nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei der mindestens einer der Gasspeichertanks (mindestens eine der Gasspeicherflaschen) der Gasspeicheranlage mit mehr als 245 bar druckbeaufschlagt wird, vorzugsweise mit mehr als 295 bar, besonders vorzugsweise mit mehr als 345 bar und insbesondere mit mehr als 395 bar, oder bei der der Ausbau auf die nächste Ausbaustufe nach weniger als 15 Jahren ab Inbetriebnahme der vorherigen Ausbaustufe erfolgt, vorzugsweise nach weniger als 8 Jahren, besonders vorzugsweise nach weniger als 4 Jahren und insbesondere nach weniger als 2 Jahren.
12. Gastankstelle nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, bei der verdichterlose Betankungstechnik durch Betankungstechnik mit Verdichter (Kompressor, Booster) ersetzt oder ergänzt wird oder bei dem Betankungstechnik mit Verdichter durch verdichterlose Betankungstechnik ersetzt oder ergänzt wird.
13. Gastankstelle nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, bei dem die jährlich abgesetzte Energiemenge in der ersten Ausbaustufe weniger als 865.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 649.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 433.000 kWh_{Hi} und insbesondere weniger als 217.000 kWh_{Hi} oder bei der die in einem Kalendermonat abgesetzte Energiemenge in der ersten Ausbaustufe weniger als 73.000 kWh_{Hi} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 55.000 kWh_{Hi}, besonders vorzugsweise weniger als 37.000 kWh_{Hi} und

insbesondere weniger als 18.000 kWh_{Hj}.

14. Gastankstelle nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, bei der die jährlich abgesetzte Energiemenge in der zweiten Ausbaustufe oder in einer weiteren, zwischen der zweiten und der dritten Ausbaustufe eingeschobenen Ausbaustufe weniger als 1.600.000 kWh_{Hj} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 1.300.000 kWh_{Hj}, besonders vorzugsweise weniger als 900.000 kWh_{Hj} und insbesondere weniger als 500.000 kWh_{Hj} oder bei der die in einem Kalendermonat abgesetzte Energiemenge in der zweiten Ausbaustufe oder in einer weiteren, zwischen der zweiten und der dritten Ausbaustufe eingeschobenen Ausbaustufe weniger als 140.000 kWh_{Hj} beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 110.000 kWh_{Hj}, besonders vorzugsweise weniger als 75.000 kWh_{Hj} und insbesondere weniger als 36.000 kWh_{Hj}.
15. Mehrzahl von Gastankstellen nach einem der Ansprüche 8 bis 14, die parallel zueinander oder unter zeitlichem Versatz errichtet, ausgebaut und betrieben werden.

5

10

15

20

25

30

35

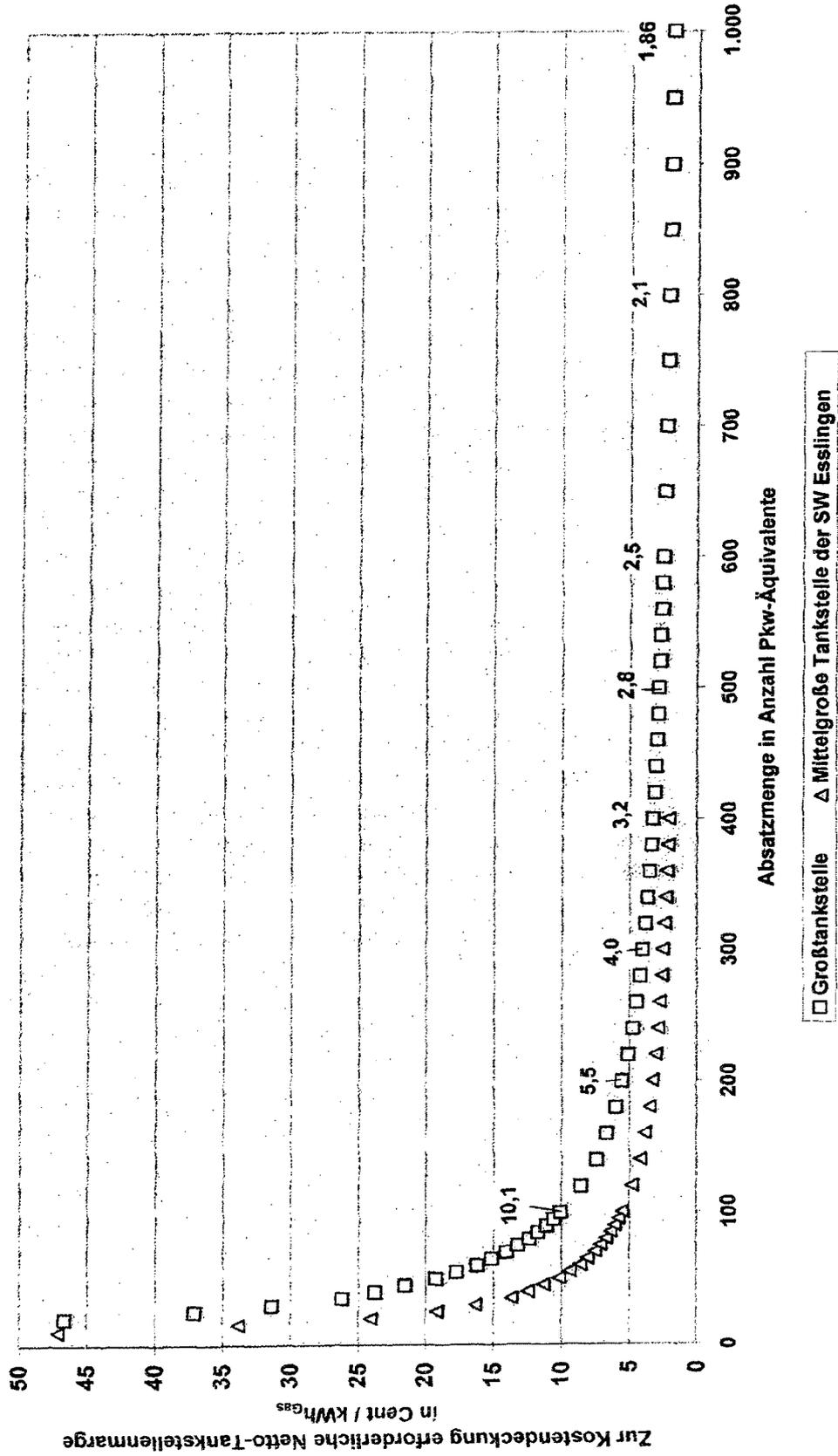
40

45

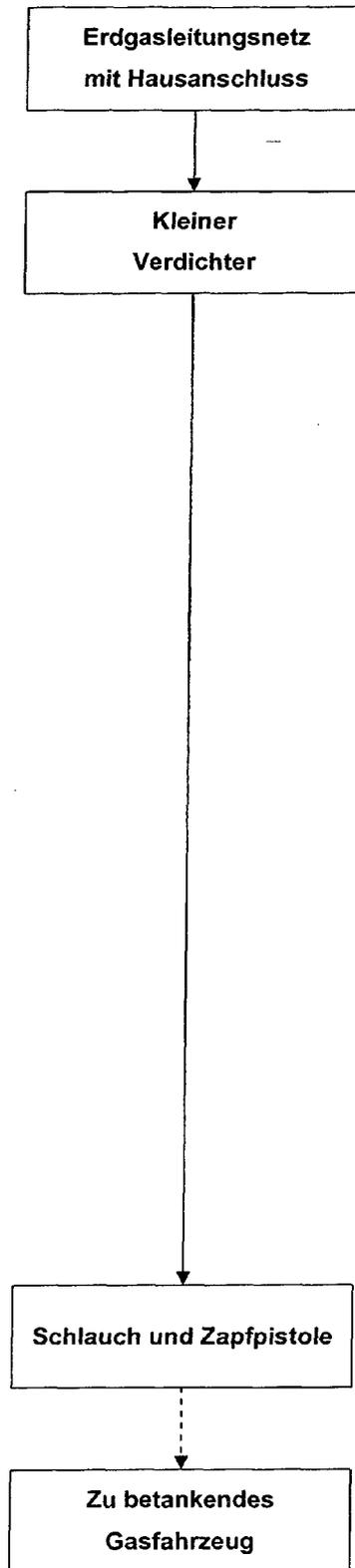
50

55

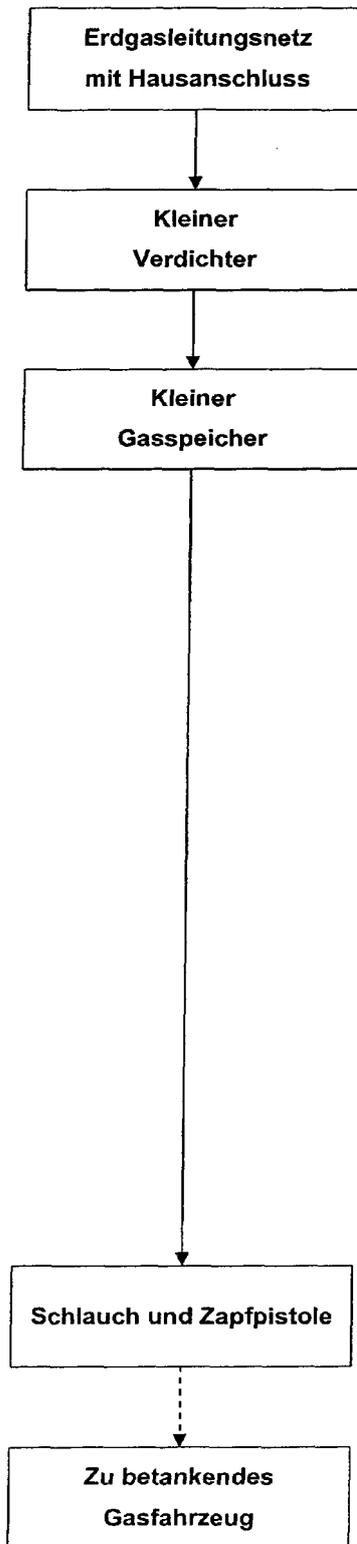
FIGUR 1



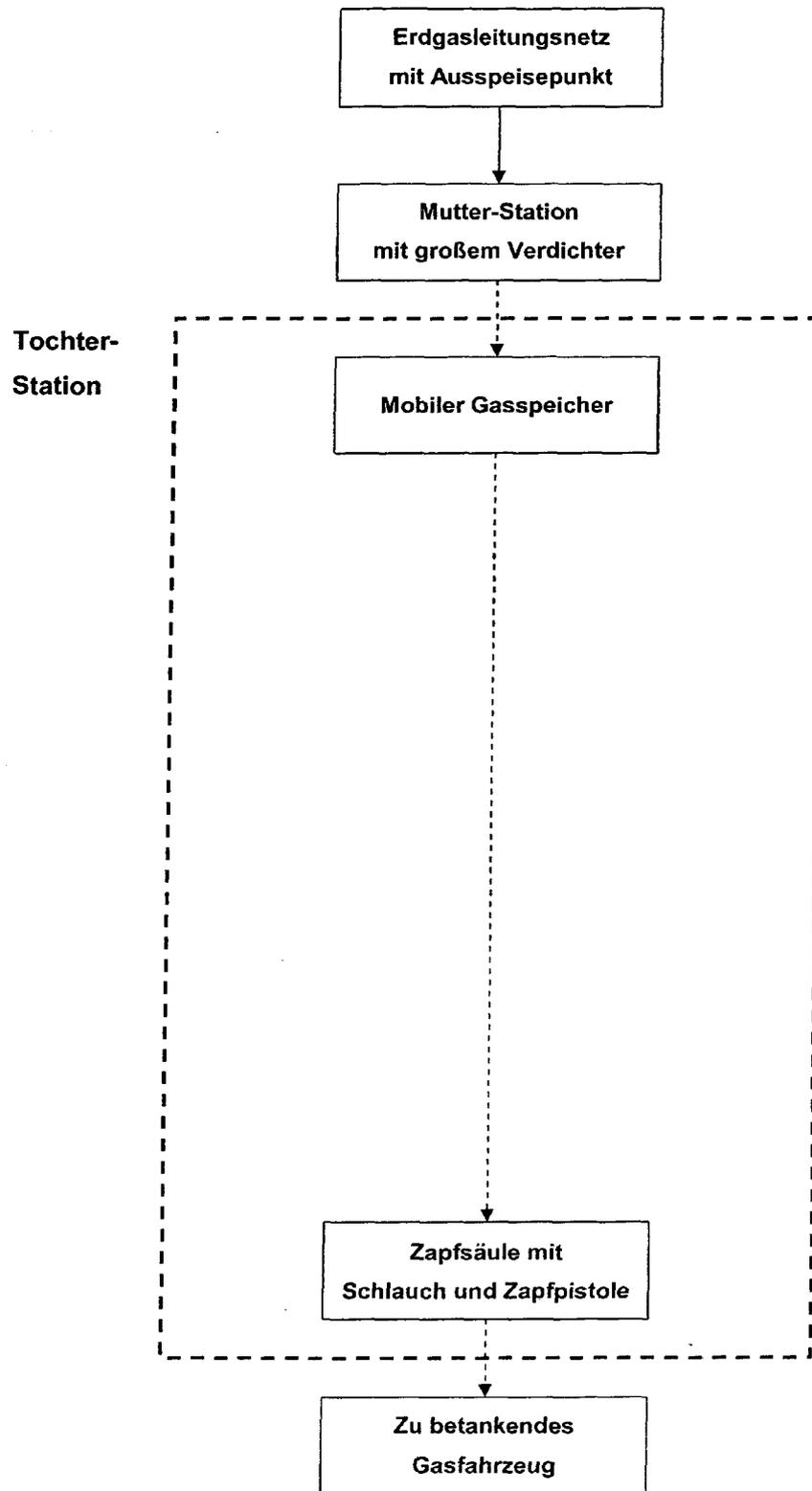
Figur 02



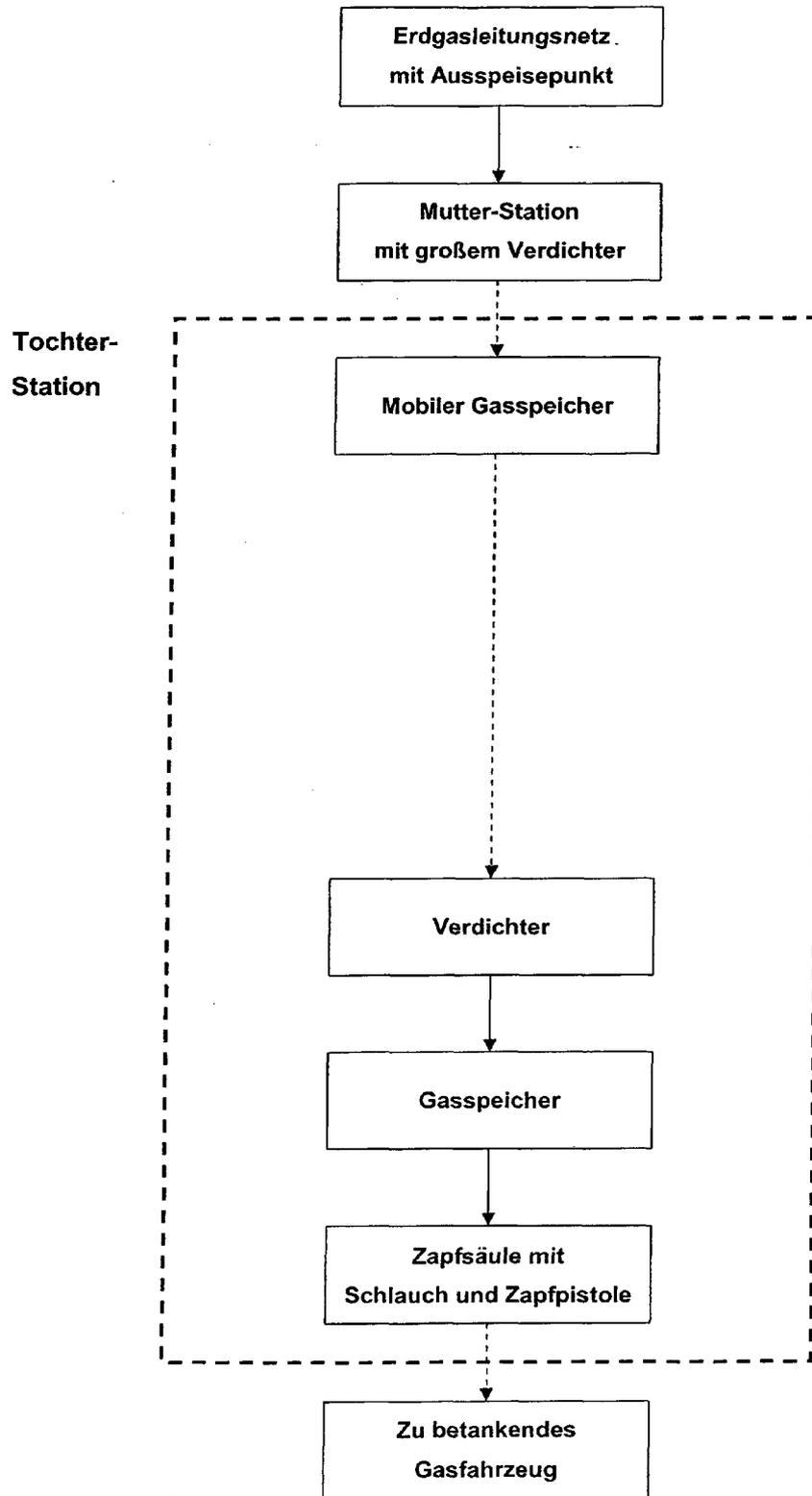
Figur 03



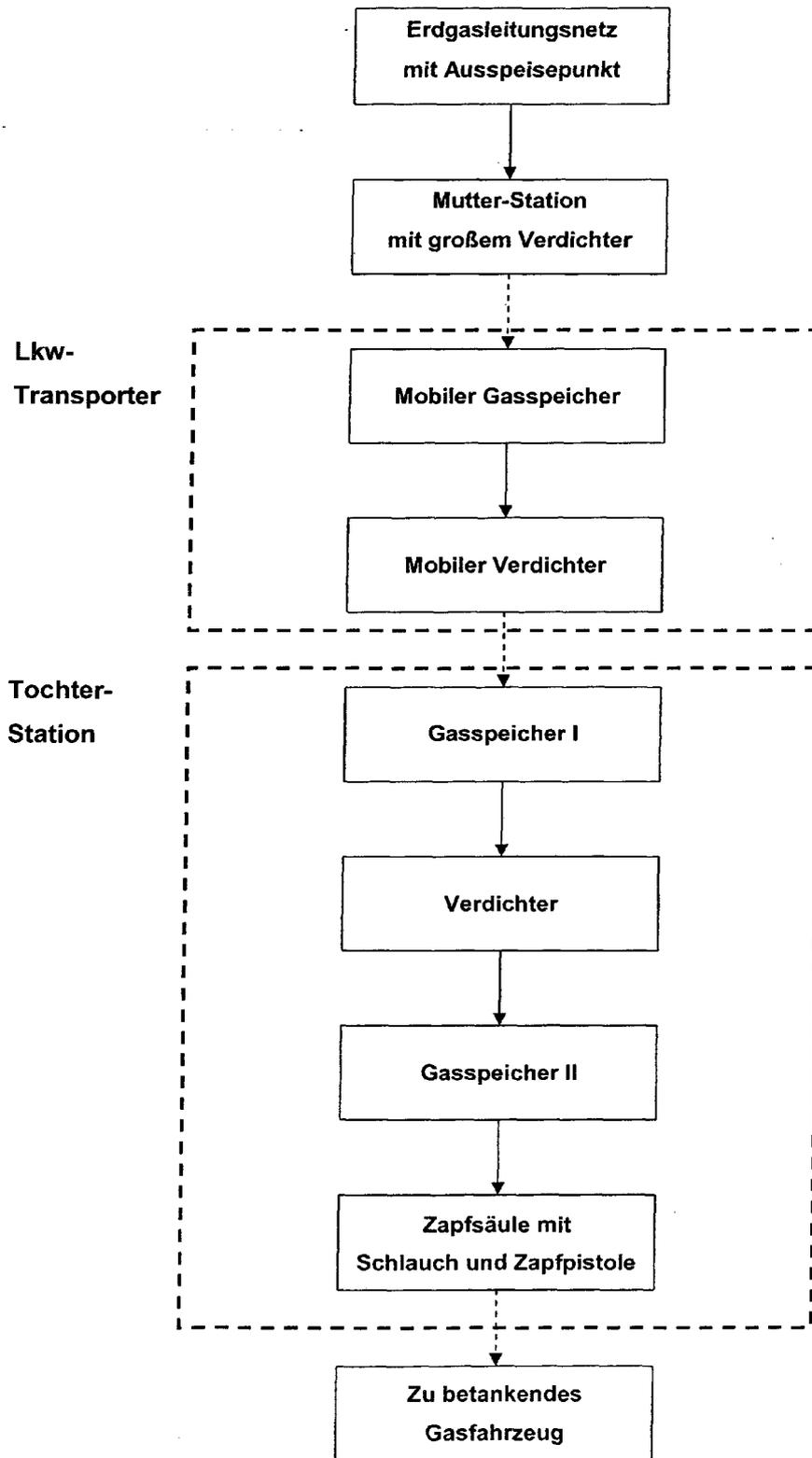
Figur 04



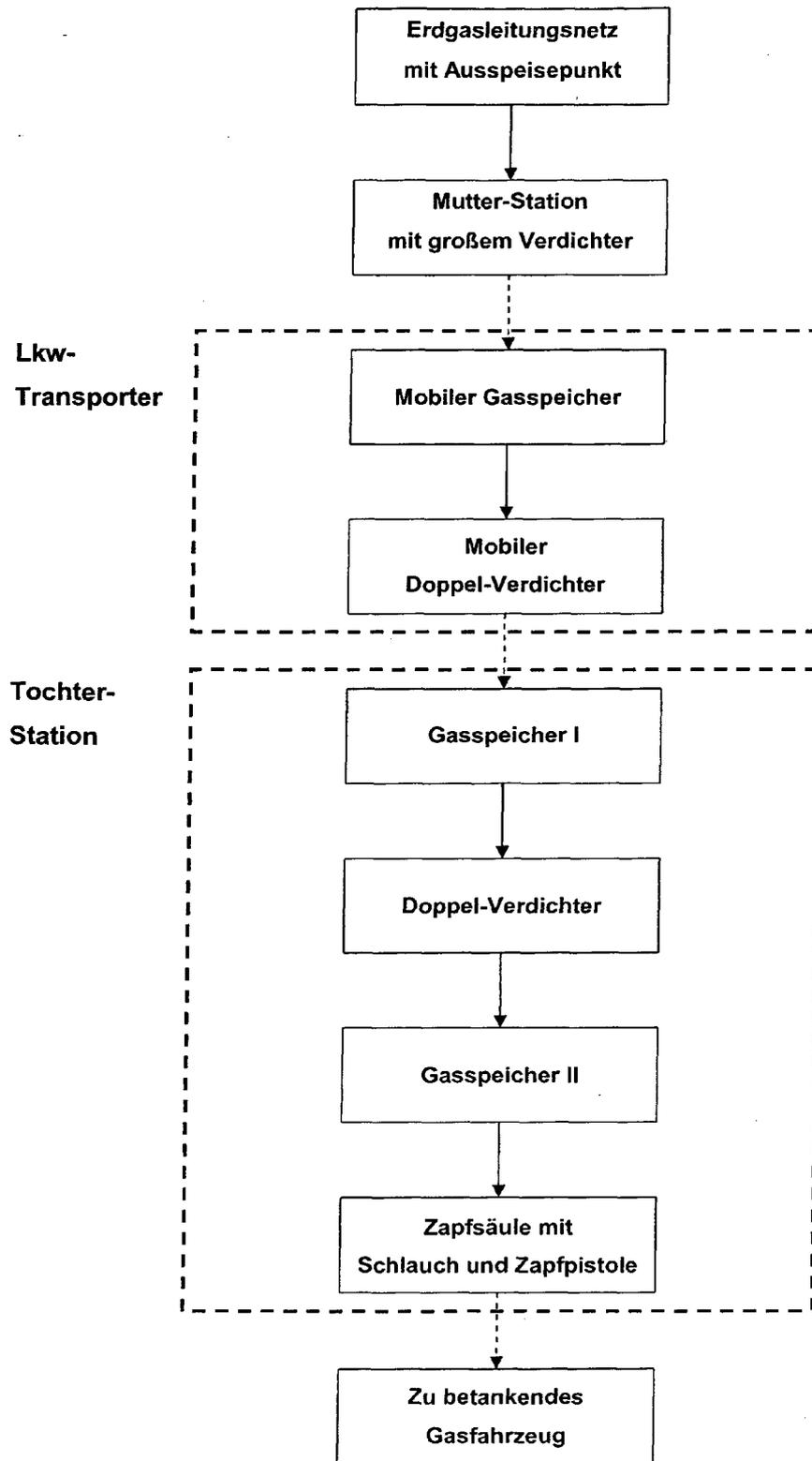
Figur 05



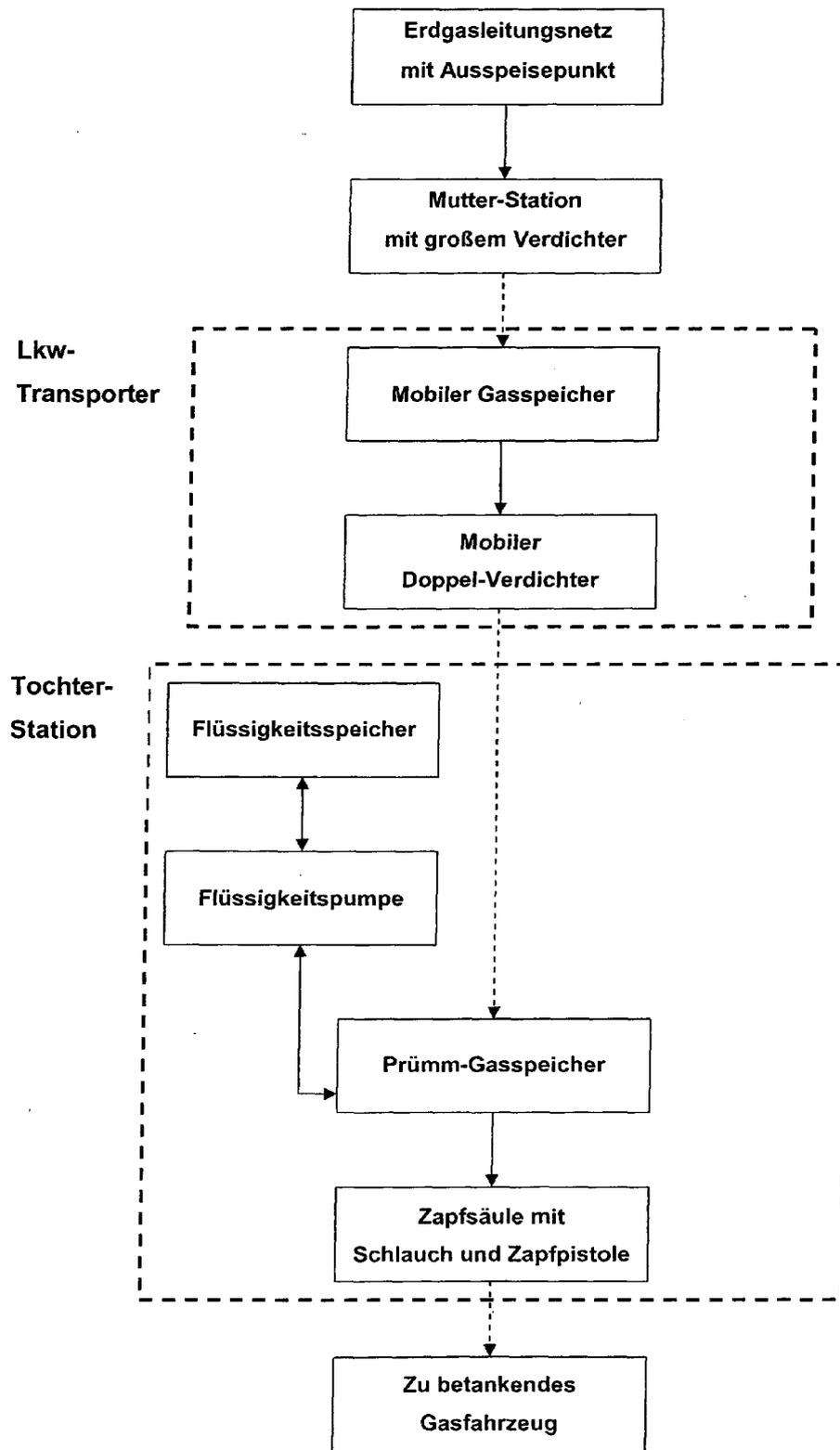
Figur 06



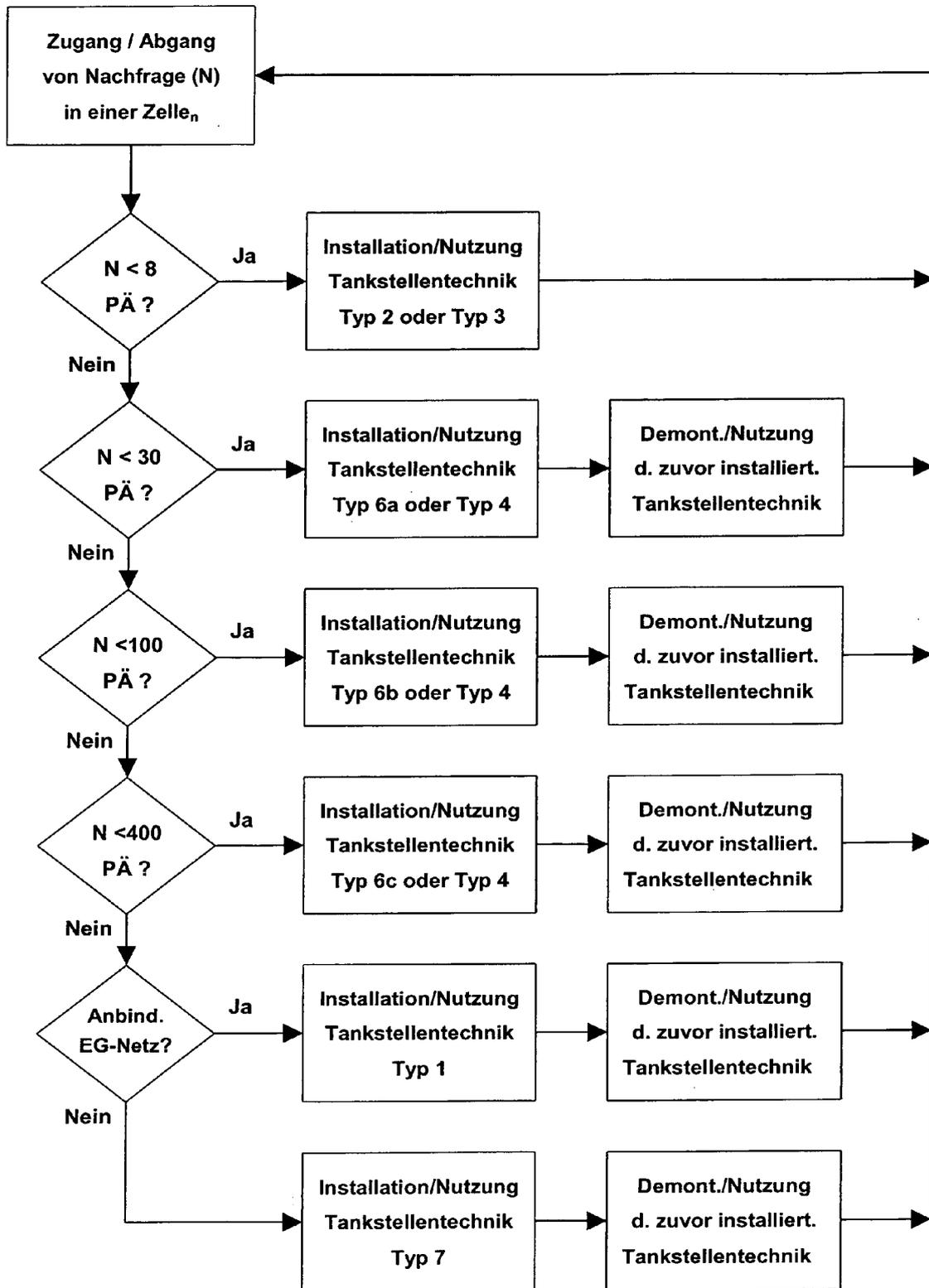
Figur 07



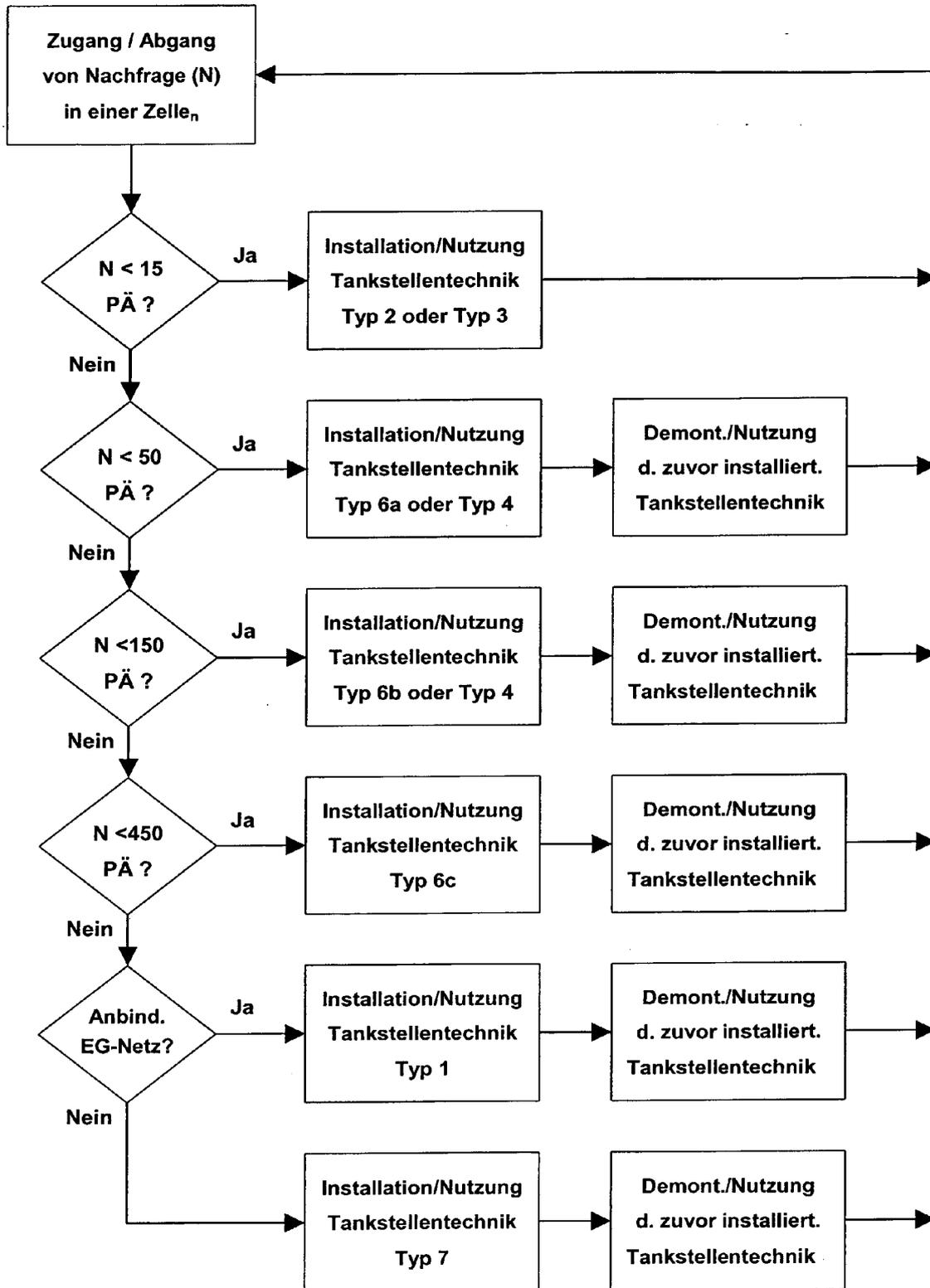
Figur 08



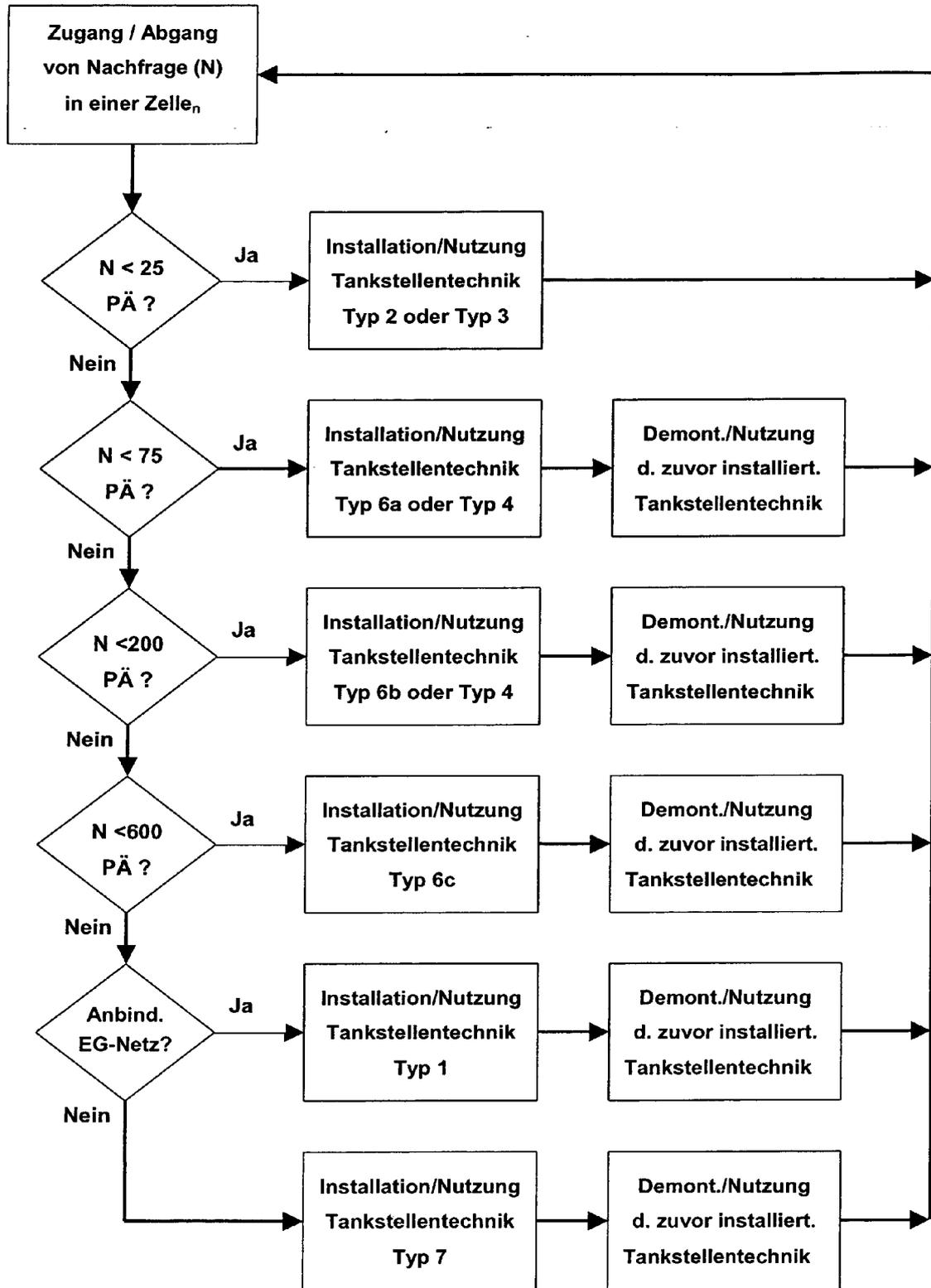
Figur 09



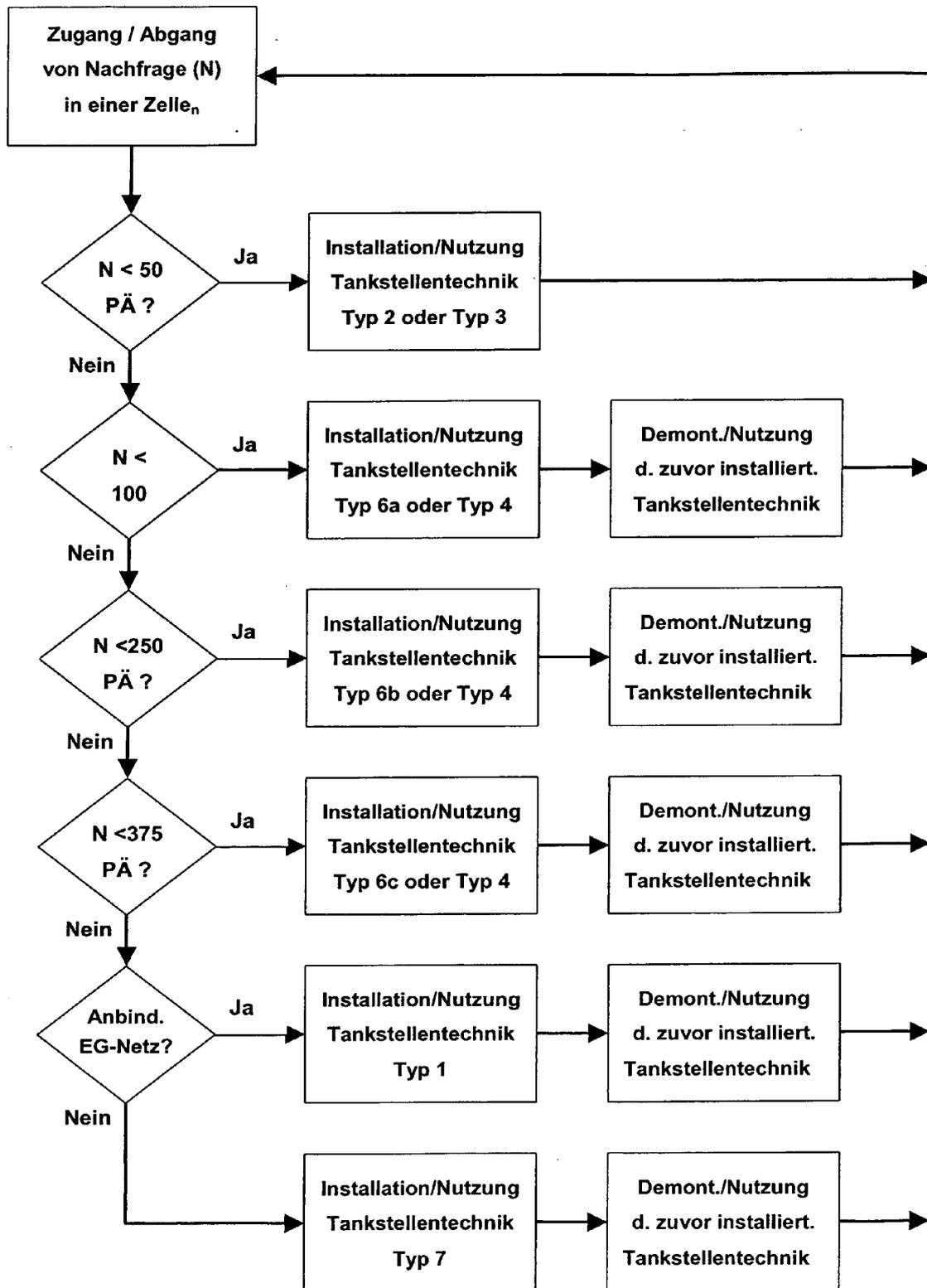
Figur 10



Figur 11



Figur 12



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] [0105]
- EP 0995943 A2 [0010] [0105]
- DE 19730459 A1 [0010] [0105]
- DD 282351 A7 [0010] [0105]
- EP 1559949 A1 [0010] [0092] [0105]
- DE 19650999 C1 [0022] [0023] [0025] [0077] [0085] [0105]
- WO 9300264 A [0049] [0105]
- DE 19933791 A1 [0050] [0105]
- EP 0356377 A [0051] [0105]
- DE 60318083 T2 [0052] [0105]
- WO 2004031643 A [0052] [0105]
- DE 6038083 T2 [0052]
- DE 000020213688 U1 [0065] [0105]
- DE 000020309846 U1 [0065] [0105]
- DE 10206502 C1 [0072] [0105]
- DE 19916385 C2 [0078] [0105]
- DD 115528 A1 [0078] [0105]
- DE 915696 [0079]
- DE 102007049458 A1 [0080] [0105]
- DE 10107187 A1 [0090] [0105]
- DE 29816811 U1 [0091] [0105]
- DE 102008007928 A1 [0093] [0105]
- DE 102004026728 A1, Fitzner [0094] [0105]
- US 265096 A [0105]
- DE 102010017818 A1 [0113]
- WO 2011101137 A1 [0113]