



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
11.10.2023 Patentblatt 2023/41

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F17C 1/00 (2006.01) F17C 6/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23166450.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F17C 1/00; F17C 1/007; F17C 6/00;
F17C 2201/052; F17C 2221/033; F17C 2223/0161;
F17C 2223/033; F17C 2225/0123; F17C 2225/033;
F17C 2227/0135; F17C 2227/0157;
F17C 2227/0311; F17C 2250/0626;
F17C 2250/0631; F17C 2260/025; (Forts.)

(22) Anmeldetag: **04.04.2023**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Ontras Gastransport GmbH**
04129 Leipzig (DE)

(72) Erfinder: **Päßler, Steffen**
14542 Werder (DE)

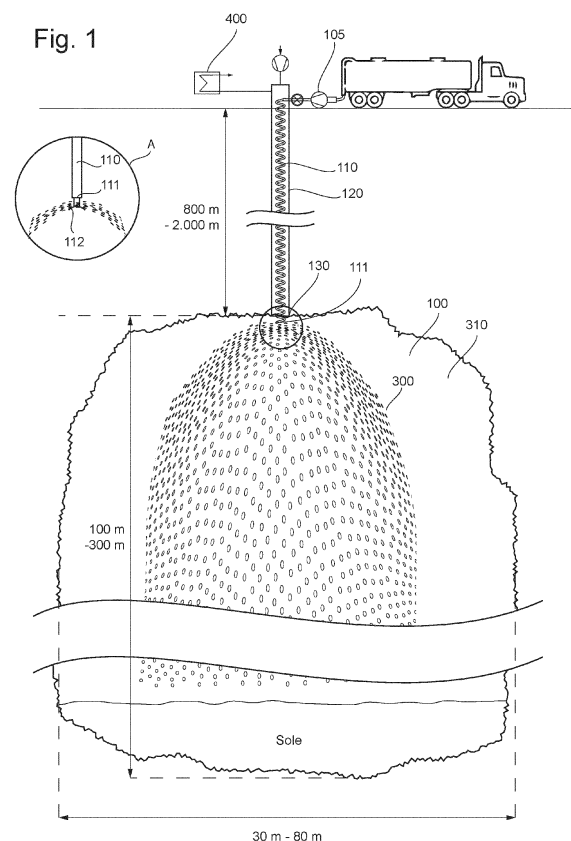
(74) Vertreter: **Castell, Klaus**
Patentanwaltskanzlei Liermann-Castell
Oberstraße 135
52349 Düren (DE)

(30) Priorität: **07.04.2022 DE 102022001198**

(54) **VERFAHREN ZUM BEFÜLLEN EINES KAVERNENSPEICHERS FÜR ERDGAS**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Befüllen eines Kavernenspeichers (100) für Erdgas, gekennzeichnet durch Einbringen einer Wärmetauscherwendel (110) in ein verrohrtes Bohrloch (120), das von der Erdoberfläche (200) bis zum Kavernenkopf (130) führt, bis zum Kavernenkopf (130), Abschließen eines Ausgangs (111) der Wärmetauscherwendel (110) mit einem Prallblech (112), Einleiten von 10 m³ bis 50 m³ LNG (300) in die Wärmetauscherwendel (110), Warten bis der Druck in der Kaverne des Kavernenspeichers (100) wieder auf 70% bis 120% des ursprünglichen Drucks angestiegen ist, erneutes Einleiten von 10 m³ bis 50 m³ LNG (300) in die Wärmetauscherwendel (110), wobei das Warten und das erneute Einleiten so lange wiederholt wird, bis eine vorgewählte Füllmenge des Kavernenspeichers (100) erreicht ist.

Fig. 1



(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
F17C 2270/0142; F17C 2270/0152;
F17C 2270/0155; F17C 2270/016

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Befüllen eines Kavernenspeichers für Erdgas.

[0002] Zum Befüllen eines Kavernenspeichers mit Erdgas ist es üblich, gasförmiges Erdgas, also Methan mit natürlichen Fremdgasbeimengungen, mit Hilfe eines bestehenden Pipelinedrucks und einer Nachverdichtung unmittelbar in die Kaverne zu pumpen. Die durch die Kompressionswärme erzeugte Temperaturerhöhung des verdichteten Erdgases wird durch Abgabe der Wärme im Kavernenspeicher an das Gebirge und/oder an eine bestehende Grundsole in der Kaverne wieder ausgeglichen. Es ist zu beobachten, dass eine Temperaturäquilibration in der Kaverne stattfindet, so dass die Gastemperatur in einer Kaverne zwischen 20°C und 30°C betragen kann. Je nach Teufe der Kaverne kann die dort vorherrschende Temperatur der Erdwärme das Gas erwärmen oder gegenüber der Kompressionswärme, die sich in dem großen Gasvolumen der Kaverne verliert, abkühlen.

[0003] Im Zuge einer Befüllung mit LNG (Liquified Natural Gas, deutsch: flüssiges Erdgas) wurde festgestellt, dass eine unmittelbare Befüllung einer Kaverne mit LNG dazu führt, dass die Temperatur in der Kaverne so weit abfällt, dass ein Mindestdruck in der Kaverne nicht aufrecht erhalten werden kann. Der mit dem Temperaturabfall einhergehende Druckabfall kann zu Schäden an der Kaverne führen und im extremsten Fall zu einem Zusammenbruch des Gebirges führen, was eine schwerwiegende Havarie darstellt.

[0004] Übliche Kavernen sind in einer Teufe zwischen 800 m und 2.000 m angeordnet, haben Höhen zwischen 100 m und 300 m und einen Durchmesser zwischen 30 m und 80 m. Es gibt auch deutlich größere Kavernen. Die Kavernen des zuvor beschriebenen Typs jedoch in Deutschland vorherrschend. Bei diesen Größen haben in Deutschland vorherrschende Kavernen Nennvolumina von 100 Mio Normkubikmeter bis 300 Mio Normkubikmeter. Wenn eine solche Kaverne mit einer typischen Übersee-Schiffsladung LNG befüllt wird, ohne das LNG vorher energieaufwändig zu vergasen, so ist ein zuvor beschriebener Zusammenbruch der Kaverne wahrscheinlich. Um die LNG-Ladung eines Schiff möglichst rasch abzuleichtern, wäre es mithin notwendig, das LNG in speziellen Anlagen mit entsprechend hoher Kapazität zu vergasen, um das vergaste LNG in ein Pipeline-System zu leiten, wo das vergaste Erdgas mit üblichen Mitteln in die Kaverne gepumpt wird.

[0005] In der aktuellen Situation ist in Deutschland kein LNG-Terminal vorhanden, das übliche Schiffsladungen LNG in einem Zeitraum vergasen kann, die für das Ableichtern eines Schiffes noch wirtschaftlich vertretbar wäre. Es besteht daher ein Bedarf, ein Verfahren zu finden, um ein mit LNG beladenes Schiff möglichst rasch abzuleichtern und das LNG in eine Kaverne zu füllen.

[0006] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird gelöst durch die Schrittfolge in Anspruch 1. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen zu Anspruch 1 angegeben.

[0007] Nach dem Gedanken der Erfindung ist es vorgesehen, LNG entgegen der Erwartungshaltung, dass die Temperatur in der Kaverne unter einen kritischen Punkt mit einhergehendem Druckabfall sinken könnte, LNG unmittelbar in die Kaverne einzuleiten. Um die zu erwartenden Folgen des Druckabfalls zu vermeiden, ist nach dem Gedanken der Erfindung vorgesehen, dass das LNG durch eine Wärmetauscherwendel oder eine Leitung ('Coil Tubing') in die Kaverne geleitet wird. Die Wärmetauscherwendel oder die Leitung ist in dem verrohrten Bohrloch vorhanden, das bis zum Kavernenkopf führt. Beim Einleiten des LNG in die Wärmetauscherwendel oder in die Leitung nimmt das LNG Wärme aus dem Gebirge und oder dem entgegenströmenden Erdgas oberhalb der Kaverne auf. Diese Wärmemenge reicht allerdings nicht aus, das eingeleitete LNG vollständig zu vergasen, auch wenn die Teufe und damit die Länge der Wärmetauscherwendel oder der Leitung 800 m bis 2 km lang sein kann. Am Kavernenkopf kommt immer noch LNG an. Dieses LNG wird über eine Prallplatte am Ende der Wärmetauscherwendel oder der Leitung aufgefächert. Dadurch vergast das LNG beim feien Fall in der Kaverne über einen Weg bis zu 300 m.

[0008] Um den beim Vergasen einhergehenden Temperatur- und Druckabfall nicht zu groß werden zu lassen, kann vorgesehen sein, dass eine typische LKW-Ladung zwischen 10 m³ und 50 m³ flüssiges Erdgas (LNG) in die Kaverne eingeleitet wird. Der hierdurch erzeugte Temperaturabfall, der merklich ist, führt noch nicht zu einem solchen Druckabfall, dass die Stabilität der Kaverne gefährdet ist. Das Gas in der Kaverne heizt sich durch die Erdwärme wieder auf und somit steigt der Druck. Erst wenn der Druck wieder zwischen 70% und 120 % des ursprünglichen Drucks angestiegen ist, wird eine weitere LKW-Ladung zwischen 10 m³ und 50 m³ in die Kaverne verfüllt. In der Regel umfassen Kavernenspeicher gleich mehrere benachbarte Kavernen. Für ein Befüllen des Kavernenspeichers, der mehrere, benachbarte Kavernen umfasst, können die benachbarten Kavernen reihum mit LKW-Ladungen betankt werden. Ab einer Anzahl von 4 Kavernen kann die erste Kaverne schon dann wieder befüllt werden, wenn die letzte von vier Kavernen betankt worden ist. Auf diese Weise kann ein Schiff mit einer größeren Anzahl von Tankfahrzeugen abgeleichtert werden und die Tankfahrzeuge fahren vom Hafen bis zur Kavernenstätte, wobei die Entfernung bis zu mehrere 100 km betragen kann, beispielsweise von Wilhelmshaven, Bremerhaven oder Brunsbüttel bis in den Salzlandkreis in Halle/Saale, wo sich Kavernenspeicher befinden.

[0009] Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn während des Betankens mit flüssigem Erdgas gasförmiges Erdgas von außen entlang der Wärmetauscherwendel oder der Leitung strömt. Dazu kann vorgesehen sein, dass aus der Kaverne gasförmiges Erdgas entnommen wird. Noch vorteilhafter ist, es, wenn während des Einleitens von LNG

zusätzlich gasförmiges Gas in die Kavernen gepumpt wird. Das durch die Kompression erwärmte Erdgas wärmt somit die Wärmetauscherwendel oder der Leitung und hilft so, das LNG zu vergasen. Entgegen der Erwartungshaltung, dass durch Einleiten von flüssigem LNG der Kavernendruck noch weiter abfällt, ist das Gegenteil zu beobachten. Das dem Flüssiggas (LNG) in der Wärmetauscherwendel oder der Leitung entgegen- oder entlangströmende Erdgas gibt Wärme an das LNG ab und kühlt sich dabei selbst ab und verlässt die Kaverne bzw. geht in die Kaverne ein. Wird Erdgas aus der Kaverne entnommen, so muss das kalte, gasförmige Erdgas aus der Kaverne beim Entspannen ohnehin eine Erwärmungsprozess durchlaufen, um die Temperatur an das lokale Gasnetz anzupassen. In diesem Fall müsste also das abgekühlte Erdgas durch atmosphärische oder beheizte Wärmetauscher erwärmt werden oder im Entspannungsprozess mehr atmosphärische Wärme aufnehmen oder auch Wärme aus der Verbrennung von Erdgas aufnehmen. Um die Temperatur des während des Betankens entnommenen Erdgases nicht zu weit zu verringern, kann vorgesehen sein, dass das entnommene Erdgas mit Erdgas gemischt wird, das aus anderen, benachbarten Kavernen des gleichen Kavernenspeichers entnommen wird. Wird hingegen die Kaverne gleichzeitig mit LNG gefüllt und auch mit gasförmigen Erdgas gefüllt, so ist die Kühlung des durch die Kompression erwärmten Erdgases sogar von Vorteil.

[0010] Die Erfindung wird anhand der folgenden Figuren näher erläutert.

[0011] Es zeigt:

Fig. 1 einen Betankungsvorgang eines Kavernenspeichers

[0012] In **Figur 1** ist eine Kaverne 100 skizziert, die in einer hier angenommenen Teufe von 800 m bis 2.000 m angeordnet ist. Diese Kaverne 100 ist über ein verrohrtes Bohrloch 120 mit der Erdoberfläche verbunden, durch welches gasförmiges Erdgas 310 aus der Kaverne 100 entnommen werden kann. Zum Einleiten von LNG ist es notwendig, das LNG mit einer Kryo-Hochdruckpumpe 105 gegen den Kavernendruck in die Kaverne zu pumpen. Nach dem Gedanken der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Wärmetauscherwendel 110 oder eine Leitung in das verrohrte Bohrloch 120 eingebracht wird, zumindest aber eine Leitung, die in der Gasentnahmeverrohrung vorliegt. Diese Wärmetauscherwendel 110 oder Leitung führt bis zum Kavernenkopf 130, wo das aus dem Ausgang 111 austretende LNG 300 auf eine Prallplatte 112 fällt und dadurch breit aufgefächert wird. Durch das Auffächern bildet sich der hier dargestellt Kegel des LNG 300, in dem das aufgefächerte LNG innerhalb der Kaverne 100, die eine Höhe zwischen 100 m und 300 m haben kann, über einen breiten Durchmesser im freien Fall innerhalb der Kaverne 100 bis auf eine am Grund befindliche Restsohle fällt. Dabei vergast das LNG zu gasförmigen Erdgas und nimmt dabei die Wärme aus dem gasförmigen Erdgas in der Kaverne 100 auf. Die Kaverne 100 wird sodann mit Erdwärme, die in 800 m bis 2.000 m Teufe vorliegt, wieder aufgewärmt. Um die Vergasung des LNG 300 zu beschleunigen, kann vorgesehen sein, dass während des Betankens einer Kaverne 100 mit 100 Mio Normkubikmeter bis 300 Mio Normkubikmeter Nennvolumen gasförmiges Erdgas aus der Kaverne 100 entnommen wird. Dabei stellt sich ein Gegenstrom-Wärmetauscher-Effekt zwischen dem gasförmigen Erdgas 310, das aus der Kaverne 100 strömt, und dem entgegenströmenden LNG 300 ein. Das abgekühlte Erdgas 310 kann sodann über einen atmosphärischen oder beheizten Wärmetauscher 400 wieder erwärmt werden. Alternativ ist es möglich, dass parallel zum Befüllen mit LNG gasförmiges Erdgas in die Kaverne gefüllt wird. Die durch die Kompression erzeugte Wärme hilft, das eingeleitete LNG zu vergasen.

[0013] Um die Temperatur in der Kaverne 100 nicht unterhalb eines kritischen Punktes, der zu einem zu starken Druckabfall führt, fallen zu lassen, kann in Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sein, dass verschiedene, benachbarte Kavernen 100 reihum mit LNG nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betankt werden.

[0014] In Detail A ist der Ausgang der Wärmetauscherwendel 110 oder der Leitung dargestellt, die an ihrem Ausgang 111 ein Prallblech 112 aufweist, welches das ausströmende LNG weit auffächert.

BEZUGSZEICHENLISTE

100	Kavernenspeicher	130	Kavernenkopf 300 LNG
105	Kryo-Hochdruckpumpe	310	Erdgas
110	Wärmetauscherwendel	400	Wärmetauschervorrichtung
111	Ausgang	A	Detail
112	Prallblech		
120	Bohrloch		

Patentansprüche

1. Verfahren zum Befüllen einer Kaverne 100 eines Kavernenspeichers (101) für Erdgas, gekennzeichnet durch

- **Einbringen** einer Wärmetauscherwendel (110) oder einer Leitung ('Coil Tubing') in ein verrohrtes Bohrloch (120), das von der Erdoberfläche (200) bis zum Kavernenkopf (130) führt, bis zum Kavernenkopf (130),
- **Abschließen** eines Ausganges (111) der Wärmetauscherwendel (110) oder der Leitung mit einem Prallblech (112),
- **Einleiten** von 10 m³ bis 50m³ LNG (300) in die Wärmetauscherwendel (110) oder in die Leitung,
- **Warten** bis der Druck in der Kaverne des Kavernenspeichers (100) wieder auf 70% bis 120% des ursprünglichen Drucks angestiegen ist,
- **erneutes Einleiten** von 10m³ bis 50m³ LNG (300) in die Wärmetauscherwendel (110) oder in die Leitung,
- wobei das Warten und das erneute Einleiten so lange wiederholt wird, bis eine vorgewählte Füllmenge des Kavernenspeichers (100) erreicht ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
gekennzeichnet durch
 ein Normvolumen des zu befüllenden Kavernenspeichers (100) zwischen 100 Mio m³ bis 300 Mio m³.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
gekennzeichnet durch
 Einleiten von 10 m³ bis 50 m³ flüssigen LNG pro einzelnen Betankungsvorgang.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
 der Kavernenspeicher (100) aus einer Mehrzahl benachbarter, einzelner Kavernen besteht, die reihum befüllt werden.

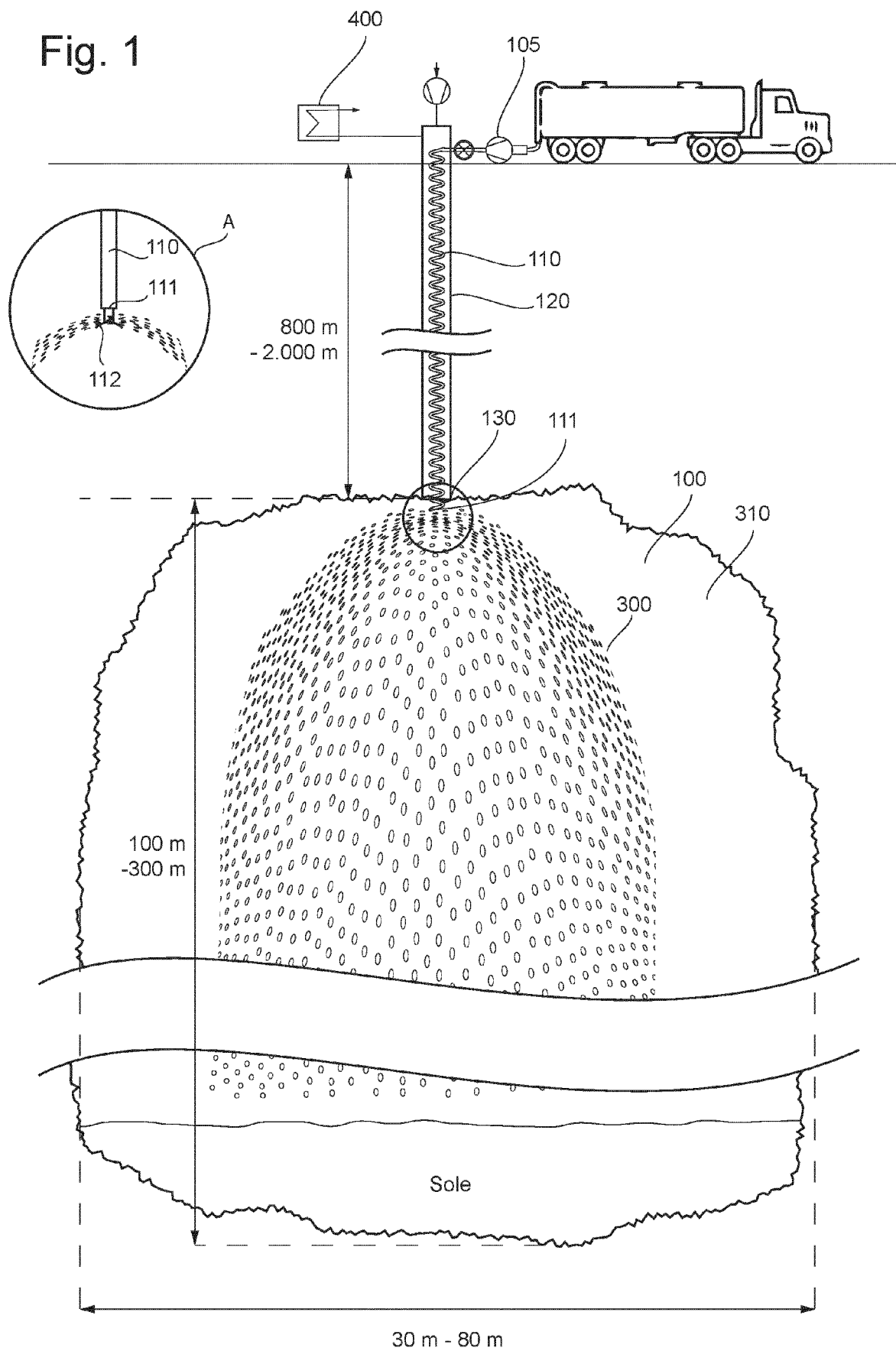
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
gekennzeichnet durch
 gleichzeitige Entnahme von gasförmigen Erdgas (310) während des Befüllens.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
gekennzeichnet durch
Entspannen des entnommenen Erdgases (310) und Erwärmen des Erdgases (310) durch mindestens eine atmosphärische oder beheizte Wärmetauschervorrichtung (400).

7. Verfahren nach Anspruch 5,
gekennzeichnet durch
Mischen von Erdgas aus der aktuell befüllten Kaverne (100) mit Erdgas aus einer benachbarten Kaverne vor dem Entspannen des Erdgases.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
gekennzeichnet durch
 gleichzeitiges Einbringen von gasförmigen Erdgas (310) während des Befüllens.

Fig. 1





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 6450

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 2011/305515 A1 (DRNEVICH RAYMOND FRANCIS [US]) 15. Dezember 2011 (2011-12-15) * das ganze Dokument *	1-8	INV. F17C1/00 F17C6/00
A	US 6 932 121 B1 (SHIVERS III ROBERT MAGEE [US]) 23. August 2005 (2005-08-23) * das ganze Dokument *	1-8	
A	US 2017/183160 A1 (HILL GREG [GB]) 29. Juni 2017 (2017-06-29) * das ganze Dokument *	1-8	
A	DE 10 2007 046268 B4 (VNG VERBUNDNETZ GAS AG [DE]) 8. Juli 2010 (2010-07-08) * das ganze Dokument *	1-8	
A	US 2006/150640 A1 (BISHOP WILLIAM M [US]) 13. Juli 2006 (2006-07-13) * das ganze Dokument *	1-8	
A	US 2014/161533 A1 (OATES ROMMEL M [US]) 12. Juni 2014 (2014-06-12) * das ganze Dokument *	1-8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F17C
A	EP 0 848 204 A2 (VERBUNDNETZ GAS AKTIENGESELLSC [DE]) 17. Juni 1998 (1998-06-17) * das ganze Dokument *	1-8	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 24. August 2023	Prüfer Forsberg, Peter
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 16 6450

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

24-08-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 2011305515 A1	15-12-2011	CA 2802044 A1	15-12-2011
			DK 2580156 T3	03-04-2017
			DK 3176128 T3	23-11-2020
			EP 2580156 A1	17-04-2013
			EP 3176128 A1	07-06-2017
			US 2011305515 A1	15-12-2011
			US 2013156502 A1	20-06-2013
			US 2014241802 A1	28-08-2014
20			US 2016122128 A1	05-05-2016
			WO 2011156081 A1	15-12-2011

	US 6932121 B1	23-08-2005	KEINE	

25	US 2017183160 A1	29-06-2017	CN 107013800 A	04-08-2017
			EP 3184875 A1	28-06-2017
			ES 2865823 T3	18-10-2021
			PL 3184875 T3	20-09-2021
			US 2017183160 A1	29-06-2017

30	DE 102007046268 B4	08-07-2010	KEINE	

	US 2006150640 A1	13-07-2006	US 2006150640 A1	13-07-2006
			US 2009010714 A1	08-01-2009

35	US 2014161533 A1	12-06-2014	US 2014161533 A1	12-06-2014
			US 2016046442 A1	18-02-2016
			US 2016046443 A1	18-02-2016

40	EP 0848204 A2	17-06-1998	DE 19653725 C1	22-01-1998
			EP 0848204 A2	17-06-1998
			PL 323376 A1	22-06-1998

45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82