

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. November 2009 (19.11.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2009/137948 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*B09B 1/00* (2006.01) *B09B 3/00* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2009/000143
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
6. Mai 2009 (06.05.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
732/08 14. Mai 2008 (14.05.2008) CH
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DECO-HANULIK AG** [CH/CH]; Wildenstrasse 15, CH-8049 Zürich (CH).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HANULIK, Jozef** [CH/CH]; Wildenstrasse 15, CH-8049 Zürich (CH).
- (74) Anwalt: **FELBER & PARTNER AG**; Dufourstrasse 116, CH-8034 Zürich (CH).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

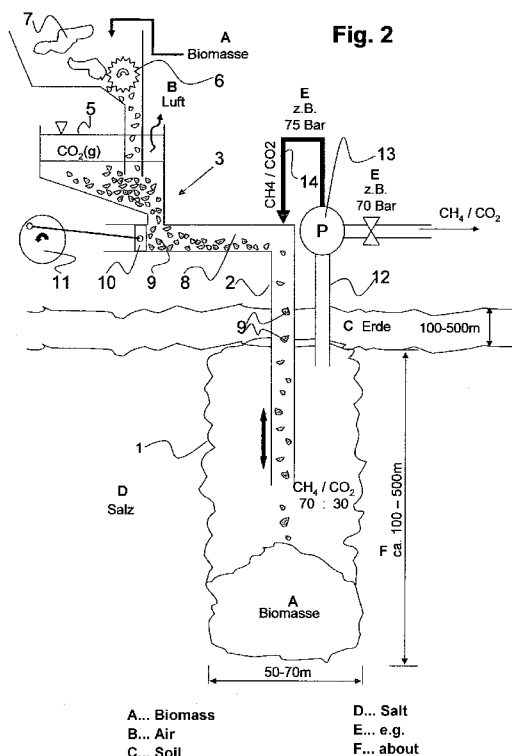
**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR REDUCING CO<sub>2</sub> AND/OR METHANE GAS IN THE ATMOSPHERE AND/OR OBTAINING BIOGAS, AND USE OF SAID SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANLAGE ZUR CO<sub>2</sub> UND/ODER METHANGAS-REDUKTION IN DER ATMOSPHERE UND/ODER GEWINNUNG VON BIOGAS, SOWIE VERWENDUNG DER ANLAGE



(57) Abstract: According to the disclosed method, biomass of any kind is specifically withdrawn from an aerobic decomposition process in a free natural environment by storing the biomass in a subterranean cavern (1) that is isolated from the groundwater such that the carbon organically bound therein remains permanently locked in the cavern (1) as a CO<sub>2</sub> equivalent. In a combination, the method is used for reducing CO<sub>2</sub> and/or methane gas in the atmosphere so as to obtain biogas. A portion of the biomass is converted into biogas by means of a fermentation process and is withdrawn, and the remaining portion of biomass comprising the organically bound carbon as a CO<sub>2</sub> equivalent remains permanently locked in the cavern. The system for carrying out said method comprises a gas-tight cavern (1) which is isolated from the groundwater, lies in stable strata below the ground or the bottom of the sea, and is tapped via a supply pipe (2) for introducing biomass. A dosing device (3) comprising a pressure lock is used for introducing biomass into the interior of the cavern in which the pressure exceeds the atmospheric pressure. Methane gas can be removed via a discharge pipe (12) comprising a pump (13).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/137948 A2



---

Nach dem Verfahren wird Biomasse jeglicher Art gezielt einer aeroben Verrottung in der freien Natur entzogen, indem sie in einer unterirdischen, vom Grundwasser isolierten Kavernen (1) anaerob eingelagert wird, sodass der organisch darin gebundene Kohlenstoff als CO<sub>2</sub>-Äquivalent dauerhaft in der Kaverne (1) eingeschlossen bleibt. In einer Kombination dient das Verfahren zur CO<sub>2</sub>- und/oder Methangas-Reduktion in der Atmosphäre unter Gewinnung von Biogas. Ein Biomassenanteil wird durch Vergärung zu Biogas umgewandelt und abgezogen, und der restliche Biomassenanteil mit seinem organisch gebundenen Kohlenstoff als CO<sub>2</sub>-Äquivalent bleibt in der Kaverne dauerhaft eingeschlossen bleibt. Die Anlage zum Betreiben des Verfahrens schliesst eine gasdichte, vom Grundwasser isolierte unter dem Erd- oder Meeresboden in stabilen Schichten liegende Kaverne (1) die über ein Zuführrohr (2) für das Einbringen von Biomasse erschlossen ist. Eine Zudosiereinrichtung (3) mit Druckschleuse dient zum Einbringen von Biomasse bei unter höherem Druck als Atmosphärendruck stehendem Kaverneninnern. Über ein Abführrohr (12) mit Pumpe (13) kann Methangas entnommen werden.

5

10

**Verfahren und Anlage zur CO<sub>2</sub> und/oder Methangas-Reduktion in  
der Atmosphäre und/oder Gewinnung von Biogas,  
sowie Verwendung der Anlage**

15

**[0001]** Die Kohlendioxidkonzentration in der Luft beträgt heute im Mittel ca. 381 ppm. Aufgrund der global wirkenden Windverfrachtungen sind die geographischen Schwankungen über die ganze Erde relativ klein. Jährlich steigt die CO<sub>2</sub>-Konzentration im weltweiten Mittel um zirka 2 ppm an, was einer relativen Konzentrationszunahme von zirka 0.5% entspricht. Auch die Methankonzentration steigt an. Diese jährliche Konzentrationszunahme ist im Wesentlichen auf die jährliche Zunahme der Menge der verbrannten fossilen Brennstoffe zurückzuführen. Jährlich werden durch solche Verbrennungen rund 180 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> mehr als im Vorjahr freigesetzt. Politische Kräfte werden immer stärker, die nach einer Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses rufen, und es werden ehrgeizige Ziele gesetzt, nach denen in den kommenden 5 bis 10 Jahren der CO<sub>2</sub>-Ausstoss weltweit um bis zu 20% gesenkt werden soll. Gleichzeitig wird aber ein stetig steigender Energiekonsum beobachtet, und in Schwellenländern, die sich in einer Transformationsphase von einer Agrargesellschaft in eine Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft befinden, ist dieser Anstieg sogar sehr beträchtlich. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Stabilisierung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses wenig wahrscheinlich und eine Reduktion auf einen tieferen

Gesamtwert erst recht illusorisch. Der absolut grösste Teil der Energieversorgung unserer Zivilisation basiert auf der Verbrennung fossiler Brennstoffe und es sind bisher keine wirklich ernst zu nehmenden Alternativen in Sicht, welche diese gewaltigen Energiebeträge aus Öl und Gas ersetzen könnten. Die Extrapolation der ablaufenden Entwicklung lässt deshalb befürchten, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoss  
5 weiterhin unablässig ansteigen wird, mit all den mittel- und langfristig gravierenden Folgen. Die Schäden infolge eines einsetzenden Klimawandels sind gigantisch.

**[0002]** Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss ist deshalb allein für sich gesehen ein sehr ernstes  
10 Problem für die menschliche Zivilisation. Die mit ihm gekoppelte andere Problematik ist die Energieversorgung der menschlichen Zivilisation, die ebenfalls sehr gravierend ist. Denn es ist die Energieversorgung wie sie heute sichergestellt wird, welche ja gerade die CO<sub>2</sub>-Problematik heraufbeschwört und zusehends verschärft. Und zahlreiche Nationen mit grossen Populationen, die gerade daran  
15 sind, auf breiterer Ebene in das industrielle Zeitalter einzutreten, entwickeln einen enormen Energiebedarf. Könnte man nach und nach oder sogar sehr rasch auf eine alternative Energieversorgung umstellen, welche CO<sub>2</sub>-neutral oder gar CO<sub>2</sub>-negativ wäre, so könnten zwei derzeit unauflöslich miteinander gekoppelte Kardinalprobleme der menschlichen Zivilisation mit einem Schlag gelöst werden.

20

**[0003]** Bisherige CO<sub>2</sub>-Problemlösungsansätze beinhalten unter anderem das sogenannte "Carbon Capture and Storage"-Verfahren (CCS-Verfahren). Bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen in Kraftwerken wird das CO<sub>2</sub> eingefangen (captured), das heisst aus den Abgasen herausgewaschen und hernach  
25 komprimiert oder verflüssigt. Das CO<sub>2</sub> wird dann in geeignete geologische Formationen gepumpt, etwa in alte Öl- und Gaslagerstätten oder in poröses Gestein. Um einen weiteren Anstieg von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre zu vermeiden, müsste man Hunderte Millionen von Tonnen von CO<sub>2</sub> jährlich so einlagern, und das für viele Jahre, was eine fast unvorstellbare Aufgabe wäre. Wegen dieser  
30 enormen Mengen ist auch die Machbarkeit von sämtlichen solchen chemischen Ansätzen - ausserhalb von Labor- und Pilotanlage-Versuchen - unrealistisch für eine echte Lösung der CO<sub>2</sub>-Problematik. Für jede Tonne eingespartem CO<sub>2</sub> wird heute wohl ein Zertifikat um die 20 USD gehandelt. Der Wirkungsgrad der

Kraftwerke würde wegen der Anwendung dieser Methoden um ca. 10% herabgesetzt. Dazu kommen die Risiken, die mit einem Lagern von so grossen Gasmengen verbunden wären. Diese sind beträchtlich und es müsste mit dem Auftreten von katastrophalen "blow outs" gerechnet werden. Eine solche

5 Katastrophe ereignete sich 1986 in Kamerun, als im Gebiet des Nyos Sees plötzlich etwa 1,7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> freigesetzt wurden. Da CO<sub>2</sub> schwerer ist als Luft, erstickten im Umkreis von 20 km über 1700 Menschen! Fazit: Bei sämtlichen bis jetzt vorgeschlagenen und diskutierten konventionellen Methoden ist es nicht

10 einmal bei optimistischer Prognose vorstellbar, dass sie über den Pilotversuch hinauskommen und einen substantiellen Beitrag zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses liefern.

**[0004]** Die Lösung des grundlegenden Problems, nämlich eine CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung der zivilisierten Gesellschaften zu schaffen, ist derzeit nicht in

15 Sicht. Die Erdölvorräte gehen zur Neige. Schon 2010 wird ein Drittel der Maisproduktion für die Ethanolproduktion benötigt werden, mit weitreichenden Folgen für die weltweite Nahrungsmittelversorgung. In der Europäischen Union will man bis ins Jahr 2020 den Energiebedarf des Verkehrssektors zu 10% mit Biotreibstoffen decken. Fahren versus essen wird zum schrecklichen Zielkonflikt.

20

**[0005]** Das Gleichgewicht von CO<sub>2</sub>-Aufnahme und CO<sub>2</sub>-Abgabe in die Atmosphäre hatte wohl über einige Jahrtausende Bestand, doch mit der Industrialisierung und der damit einhergehenden rasanten und exponentiellen Zunahme der Verbrennung fossiler Brennstoffe seit etwa 150 Jahren begann sich dieses

25 Gleichgewicht zu verschieben. Heute (2008 AD) werden zirka 10 Milliarden Tonnen fossile Brennstoffe, unter anderem Erdöl, jährlich aus fossilen Quellen genutzt. Der Erdölverbrauch steigt auch heute noch jährlich um zirka 0,5 Prozent an, wengleich das Maximum der bekannten Ölvorräte bereits überschritten zu sein scheint. Da das Wachstum der Vegetation Kohlendioxid durch die

30 Photosynthese bindet, erlaubt das Kyoto-Protokoll Ländern mit grossen Wald- und anderen Vegetationsgebieten, einen gewissen Anteil ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen mit den grossen CO<sub>2</sub>-Aufnahmen ihrer Vegetation zu verrechnen, um so ihren Netto CO<sub>2</sub>-Emissionsgrad zu senken.

**[0006]** Auf der Basis dieser Verrechnungsmöglichkeit entstand ein internationaler „CO<sub>2</sub>-Emissionsmarkt“, von dem man sich erhofft, dass er lenkend wirkt und letztlich zu einer kosteneffektiven CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion führen sollte. Es  
5 handelt sich gewissermassen um ein Bonus-Malus-System.

**[0007]** Eingedenk der oben erwähnten Ausgangslage ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen technisch und industriell realistischen und somit gangbaren Weg aufzuzeigen, um aus dieser fatalen Sackgasse des weiterhin  
10 steigenden Bedarfs für die Verbrennung fossiler Energieträger und des damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Anstiegs und auch Methan-Anstiegs in der Erdatmosphäre herauszukommen. Eine zweite, untrennbar damit verbundene Aufgabe besteht auch darin, einen alternativen erneuerbaren Energieträger im grossen Massstab zur Verfügung zu stellen, der die Treibhausgas-Problematik löst. Die spezifische  
15 Gesamtaufgabe der Erfindung besteht darin, ein technisches Verfahren und eine Anlage zur CO<sub>2</sub>- und/oder Methangas-Reduktion in der Atmosphäre und/oder zur Gewinnung von Biogas anzugeben, sowie auch Verwendungen der Anlage aufzuzeigen.

**[0008]** Diese Aufgabe wird gelöst durch drei durch die Zielsetzung unterscheidbare Verfahren, welche alle durch eine gemeinsame erfinderische Idee untrennbar verbunden sind, jedoch verschiedene Ausgestaltungen des Verfahrens darstellen:

**[0009]** Zum ersten wird die Aufgabe gelöst von einem Verfahren zur CO<sub>2</sub>- und/oder Methangas-Reduktion in der Atmosphäre, bei welchem Biomasse einer Verrottung entzogen wird, indem sie in einer unterirdischen, vom Grundwasser isolierten Kavernen anaerob eingelagert wird, sodass der organisch darin gebundene Kohlenstoff als CO<sub>2</sub>-Äquivalent dauerhaft in der Kaverne  
30 eingeschlossen bleibt.

**[0010]** Zum Zweiten wird die Aufgabe gelöst von einem Verfahren zur Gewinnung von Biogas, bei welchem Biomasse in einer unterirdischen, vom Grundwasser

isolierten und als Fermenter gestalteten Kaverne gesammelt und anaerob eingelagert wird, wobei ein Anteil durch Vergärung zu Biogas umgewandelt und abgezogen wird.

- 5 **[0011]** Zum Dritten wird die Aufgabe gelöst von einem Verfahren zur CO<sub>2</sub>- und/oder Methangas-Reduktion in der Atmosphäre, bei welchem Biomasse einer Verrottung entzogen wird, indem sie in einer vom Grundwasser isolierten Kaverne oder einem Behälter (1,21) von wenigstens 1000m<sup>3</sup> Volumen anaerob eingelagert wird, sodass der organisch darin gebundene Kohlenstoff als CO<sub>2</sub>-Äquivalent
- 10 dauerhaft in der Kaverne (1,21) eingeschlossen bleibt.

**[0012]** Weiter wird die Aufgabe gelöst von einer Anlage zum Betreiben des Verfahrens nach einem dieser Ansprüche, die sich dadurch auszeichnet, dass sie einschliesst:

- 15 a) eine gasdichte, vom Grundwasser isolierte, unter dem Erd- oder Meeresboden in stabilen Schichten liegende baumateriallos erstellte Kaverne (1,21) oder einen unter- oder überirdisch künstlich angelegten grossen Behälter,
- b) mindestens ein Zufuhrrohr (2,22) für das Einbringen von Biomasse,
- 20 c) mindestens ein Zudosiereinrichtung (3) mit Druckschleuse zum Einbringen von Biomasse bei gleichem oder unter höherem Druck als Atmosphärendruck stehendem Kavernen- oder Behälterinnern,
- d) mindestens ein Abföhrrohr (12,23) mit Pumpe (13) zur Entnahme von Gasen aus der Kaverne (1,21) oder dem Behälter.

25

**[0013]** Schliesslich wird die Aufgabe gelöst durch verschiedene Verwendungen der Anlage, nämlich entweder

- zum Speichern von Biogas über beliebige Zeiträume sowie zum bedarfsweisen Spenden von Biogas für eine kommerzielle Nutzung, oder

30

- zum Verstromen des erzeugten Biogases, oder
- zur Reinigung von Gewässern und Trinkwasserreservoirs durch Entnahme von Algen und Einlagerung derselben in einer Kaverne zur anaeroben Vergärung, oder

- zur Langzeitlagerung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in Form von in Biomasse gebundenem Kohlenstoff über mindestens 1 Mio. Jahre zur Einleitung der Umwandlung des Kohlenstoffes zu Kohle, Öl und Erdgas durch Fossilisierung.

5 **[0014]** Im ersten Moment erscheint dieser erfindungsgemässe Ansatz wie oben definiert wenig spektakulär. Umso überzeugender aber erweist er sich, sobald die gigantischen anfallenden Massenbeträge an Biomasse ins Kalkül gezogen werden, die erst durch den Einsatz von Kavernen riesiger Volumina überhaupt umsetzbar werden. Wenn man bei Abfall und Reststoffen bloss an Küchenabfälle  
10 und Reststoffe aus der Verarbeitung von Holz und landwirtschaftlichen Produkten denkt, so ist das Potenzial freilich beschränkt und bietet keine namhaften Beiträge. Wenn aber bedacht wird, wieviel Biomasse jährlich in der freien Natur verrottet, und man auch nur einen Teil davon effizient nutzen könnte, so ändert sich das Bild dramatisch. Durch die erfindungsgemässe Nutzung von riesigen gasdichten und  
15 baumateriallos erstellten Kavernen lassen sich diese riesigen Mengen gezielt und intelligent nutzen, mit den damit schlagenden Vorteilen, nämlich erstens einer damit verbundenen substantiellen Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses in die Atmosphäre, und zweitens der Bereitstellung entsprechend grosser Mengen an Biogas für die kommerzielle Nutzung.

20

**[0015]** Die Erfindung sowie die Gedankengänge, auf denen sie basiert, werden im Folgenden dargelegt, und dazu wird auf die Zeichnungen verwiesen.

Es zeigt:

25

Figur 1: Eine schematische Darstellung des Biomasse-Kohlenstoff-Kreislaufs unseres Planeten mit dem erfindungsgemässen Entzug einer Teilmenge der Biomasse und des darin gebundenen Kohlenstoffes zur  
Bewahrung vor einer aeroben Verrottung in der Natur;

30

Figur 2: Eine schematische Darstellung einer Biomassen-Salzkaverne auf dem Festland zur Reduktion der Treibhausgase CO<sub>2</sub> und Methan in der Atmosphäre und zur Biogas-Erzeugung sowie zur bleibenden

Kohlenstoff-Einlagerung zwecks Einleitung der Fossilisation;

Figur 3: Eine schematische Darstellung einer off-shore Biomassen-Kaverne zur Reduktion der Treibhausgase CO<sub>2</sub> und Methan in der Atmosphäre und zur Biogas-Erzeugung durch Einlagerung von Biomasse, namentlich von Algen, sowie zur bleibenden Kohlenstoff-Einlagerung zwecks Einleitung der Fossilisation;

5

10

Figur 4: Die Massenbilanz des Verfahrens, schematisch dargestellt anhand einer Tonne Biomasse, die dem natürlichen Verrottungsprozess entzogen wird.

15

**[0016]** Das Binden (capture) von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre ist seit Milliarden von Jahren genial gelöst. Mittels Sonnenenergie in der Photosynthese wird nämlich CO<sub>2</sub> in der Biomasse gebunden:



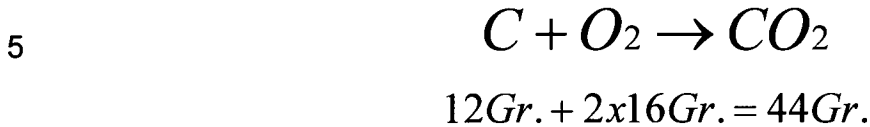
20

25

30

**[0017]** Die **Figur 1** zeigt diesen Prozess schematisch auf. Von ausserhalb der Erde kommt bloss die Sonnenenergie bzw. Lichtenergie hinzu, welche den ganzen Prozess auf der Erde und in der Atmosphäre am Laufen hält. Mit der Photosynthese wird ein Wassermolekül durch zwei Lichtquanten aus der Sonnenenergie gespalten zu Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff reduziert CO<sub>2</sub> zu organischen Kohlenstoffverbindungen als wichtigsten Bestandteil der Biomasse. Pflanzen und Algen wirken als eigentliche Biokonzentratoren, welche aus ca. 380 ppm CO<sub>2</sub> Konzentrationen in der Atmosphäre Kohlenstoff in Form von organischen Verbindungen in der Biomasse einlagern, mit einem Anteil von Kohlenstoff in den Algen von bis zu ca. 50 % ihrer trockenen Biomasse. Diese Konzentrations-Anreicherung beträgt im Vergleich zu den 380ppm in der Atmosphäre mehr als das Tausendfache! Der Prozess läuft bei Raumtemperatur ab, ohne jegliche komplizierte künstliche Technologien, und man kann zu Recht sagen: Es handelt sich um ein Wunder der Natur. Jeder Versuch, diesen natürlichen Weg des Einbindens von CO<sub>2</sub> nachzuahmen ist mit unseren technologischen Mitteln nicht einmal annähernd energieeffizient erreichbar. Eine

Tonne Kohlenstoff (carbon) in Biomasse gespeichert korrespondiert mit 3,6 Tonnen gebundenem CO<sub>2</sub>, was sich aus der Stöchiometrie und den Atomgewichten ergibt:



[0018] Aus 12 Gramm Kohlenstoff werden also 44 Gramm CO<sub>2</sub>. Das ergibt einen Faktor 3.66, denn  $12 \times 3.66 = 44$  Gramm, oder im Folgenden vereinfacht auf den Faktor 3.6. Aus 50 Tonnen gebundenem Kohlenstoff werden also: 50 Tonnen C x Faktor 3.6 = 180 Tonnen CO<sub>2</sub>. Die jährliche Gesamtproduktion der Biomasse auf der Erde an organischem Kohlenstoff beträgt etwa 173 Milliarden Tonnen, davon entstehen etwa 118 Milliarden Tonnen auf dem Festland und etwa 55 Milliarden Tonnen in den Ozeanen. Etwa 10 Mia. Tonnen Kohlenstoff verbrennt die Menschheit alljährlich, Tendenz steigend, während nach Schätzungen gerundet etwa 200 Mia. Tonnen Kohlenstoff aus Biomasse in der freien Natur verrotten (das heisst so viel wie produziert wird verrottet hernach laufend), also etwa das Zwanzigfache der verbrannten Menge. Die folgende Rechnung ist nun aufschlussreich, und sie begründet die im unteren Teil des Schemas dargestellte Grundidee der Erfindung, nämlich das Abzweigen von Biomasse zwecks einer anaeroben isolierten Vergärung in einer gasdichten unterirdischen Kaverne: 1 Mio. Tonnen Biomasse reduziert sich auf ca. 0.5 Mio. Tonnen trockene Biomasse. Diese wiederum enthält 50% bis 60% biologisch gebundenen Kohlenstoff, also ca. 0.25 bis 0.30 Mio. Tonnen Kohlenstoff. Multipliziert man mit dem Faktor 3.6, so erkennt man, dass daraus ca. 0.90 bis 1.08 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> entstehen. Vereinfacht ausgedrückt entsteht aus 1 Tonne Biomasse entsteht etwa 1 Tonne CO<sub>2</sub>! Wenn Biomasse an der Luft verrottet, wie sie das ja in der Natur weltweit in gigantischen Mengen tut, so entsteht daraus auf die Masse bezogen etwa 50% CO<sub>2</sub> und 50% Biogas bzw. Methan. Vergärt die Biomasse hingegen anaerob, so entsteht daraus nur etwa 30% CO<sub>2</sub>, dafür aber 70% Biogas.

[0019] Aufgrund all dieser Erkenntnisse verfolgt die vorliegende Erfindung im

Wesentlichen eine Multigas-Strategie, nämlich im grossen Stil erstens den CO<sub>2</sub>-Ausstoss und CH<sub>4</sub>-Ausstoss in die Erdatmosphäre zu reduzieren, und zweitens aus der Biomasse gleichzeitig nutzbares Methan zu erzeugen. Eine Verrottung von Biomasse zu klimaschädigendem CO<sub>2</sub> und Methan wird verhindert. Es wird dazu nicht mit einer technologischen "Breachstange" gegen die Natur vorgegangen, sondern es werden konsequent die existierenden Rhythmen der Naturprozesse genutzt. Es wird ein indirekter, aber dafür sehr logischer Weg gewählt: Anstatt nämlich jährlich 180 Mio. Tonnen gasförmiges CO<sub>2</sub> aufwändig einzufangen und mit einem erheblichen Gefahrenpotential lagern zu wollen, was in diesem Grössenmassstab ohnehin nicht industriell realisierbar ist, wird nun angestrebt, das biologische CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 180 Mio. Tonnen gasförmigem CO<sub>2</sub> in Form von Biomasse "einzufangen". Hierzu müssen also etwa 50 Mio. Tonnen Kohlenstoff in Biomasse gebunden vor einem CO<sub>2</sub>-Ausstoss in die Atmosphäre bewahrt werden, denn  $50 \text{ Mio. T C} \times 3.6 = 180 \text{ Mio. T CO}_2$ . Entzieht man der Natur also möglichst viel Biomasse, um sie gezielt vor einer aeroben Verrottung zu bewahren, und führt sie einer anaeroben Vergärung zu, im Rahmen welcher das entstehende CO<sub>2</sub> zurückgehalten werden kann, also nicht in die Atmosphäre gelangt, so lassen sich auf diese Weise sehr erhebliche Reduktionen des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstosses in die Atmosphäre erreichen. Berechnungen zeigen, dass nur schon die Bewahrung von 50 Mio. Tonnen C in Biomasse vor einer aeroben Verrottung und Zurückhaltung des anaerob entstehenden CO<sub>2</sub>-Gases genügt, um den weiteren Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Erdatmosphäre zu stoppen, welcher derzeit ca. 0.5% beträgt. Wird noch mehr Biomasse der natürlichen aeroben Verrottung entzogen, so lässt sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration sogar wesentlich senken, auf Niveaus wie sie vor Jahrzehnten vorherrschten.

**[0020]** Das überraschende Moment der Erfindung ist, dass dieses Bewahren und Isolieren von solch grossen Mengen von Biomasse für eine anaerobe Vergärung und gleichzeitig die Zurückhaltung des entstehenden CO<sub>2</sub>-Gases technisch ohne Weiteres machbar ist. Die Biomasse (Holz, Abfallholz, abgefallene Blätter, landwirtschaftlicher Abfall, Grünabfall, Gülle, Küchenabfall, Tierkadaver, etc.) wird hierfür in gasdichten, vom Grundwasser isolierten, sauerstoff-freien Kavernen eingelagert und dort einer anaeroben Vergärung ausgesetzt. Dabei entsteht nebst

Methan (70%) auch CO<sub>2</sub>, aber nur zu 30%. Das so erzeugbare Biogas kann zu Bio-Methangas gereinigt werden, indem es von CO<sub>2</sub> befreit wird. Mit Aktivkohle kann ausserdem der Schwefel aus dem Biogas entfernt werden. Lösungen für diese Veredelung von Biogas sind im Stand der Technik vorhanden. Schliesslich  
5 kann Biogas auch mitsamt dem darin enthaltenen CO<sub>2</sub> verstromt werden, was speziell etwa für die dritte Welt interessant ist.

**[0021]** Wenn man den gegenwärtigen jährlichen 0.5% Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Erdatmosphäre stoppen will, so muss man wie erwähnt  
10 jährlich 50 Mio. Tonnen Kohlenstoff in Biomasse gebunden in Kavernen einlagern. Hierzu benötigt man etwa 100 Kavernen mit je einem Fassungsvermögen von 1 Mio. m<sup>3</sup>. Jede solche Kaverne kann mehrmals nachgefüllt werden, denn die laufende Vergärung in der Kaverne reduziert das Volumen der darin eingelagerten Biomasse. Das Auffüllen wird fortgesetzt, bis keine nennenswerte Biogas-  
15 Produktion mehr stattfindet. Dann pumpt man das Restgas ab und reduziert den Innendruck in der Kaverne, bis diese kontrolliert kollabiert und ihren Inhalt, nämlich organisch gebundenen Kohlenstoff von bis zu 600'000 Tonnen einschliesst. Dann setzt der Fossilierungsprozess ein. Die 600'000 Tonnen C korrespondieren etwa mit einem 2.2 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent, welches CO<sub>2</sub> nicht als Treibhausgas  
20 zur Wirkung kommt und nach dem Kyoto-Protokoll als captured and stored gilt und daher als CO<sub>2</sub>-Zertifikat verrechenbar und handelbar ist.

**[0022]** Der eigentliche Schlüssel zur Nutzung der Bioenergie liegt in der gewaltigen Grösse der Fermenter in Form von Kavernen! Eine Kaverne mit 1 Mio.  
25 m<sup>3</sup> Inhalt entspricht einem Raum eines Kubus von 100m x 100m x 100m, was im erdgeographischen Massstab ein kleines Klötzchen ist, oder es entspricht einem Bohrloch von 40m x 40m x 625m. Unterirdische, gasdichte und vom Grundwasser isolierte Kavernen von annähernd dieser Grösse gibt es bereits in grösserer Anzahl, in Deutschland allein ca. 100, wovon etwa 35 für strategische  
30 Erdölreserven und Gas benützt werden, und in den U.S.A. gibt es bereits über 1000 solche Kavernen! Solche Untergrundspeicher dienen dem Ausgleich jahreszeitlich bedingter Bedarfsschwankungen, der Abdeckung von großen Bedarfsspitzen sowie als strategische Energiereserve und Havariereserve. Sie

werden auch zunehmend für Spot-Handelsgeschäfte genutzt. Unter  
Untergrundspeicherung ist die sichere, kostengünstige und umweltverträgliche  
Bevorratung großer und größter Mengen an Energieträgern, flüssigen oder gasför-  
migen Rohstoffen oder chemischen Erzeugnissen in den natürlichen Poren und  
5 Klüften oder in künstlich geschaffenen Hohlräumen in tief liegenden geologischen  
Formationen zu verstehen. Gespeichert werden Erdgas, Erdöl, Luft, Kraftstoffe,  
Propan/Butan, chemische und petrochemische Erzeugnisse. Die gespeicherten  
Mengen sind nach herkömmlichen Vorstellungen riesig. So können einige hundert  
10 Millionen m<sup>3</sup> Erdgas in einer Speicheranlage bevorratet und mehrere  
hunderttausend oder sogar einige Millionen m<sup>3</sup> pro Stunde ausgelagert werden.  
Gase werden in der Regel unter sehr hohem Druck gespeichert, der häufig mehr  
als 100 bar beträgt und gelegentlich auch 200 bar überschreiten kann.

**[0023]** Eine besondere Kategorie von Kavernen, die sich optimal als Riesen-  
15 Fermenter für Biomassen aller Art anbieten, sind Salzkavernen. Salzgestein  
kommt unter bestimmten Bedingungen im Untergrund mit einer beachtlichen  
Mächtigkeit in Form von Salzschieben oder Salzstöcken vor. Diese sind meist 500  
bis 1500m mächtig. Ab einer gewissen Salzmächtigkeit können darin  
Salzkavernen angelegt werden. Das sind mit Wasser künstlich ausgesolte, große  
20 Hohlräume. Zur Herstellung einer solchen Kaverne wird über eine verrohrte  
Bohrung von ca. 60cm Durchmesser und 300m Tiefe Wasser bis in jene Tiefe  
einzirkuliert, in der sich das Salzgestein befindet. Dort löst das Wasser das Salz  
und sättigt sich auf. Die dabei entstehende Salzsole mit etwa 30% Salzgehalt  
fließt über einen weiteren in der Bohrung befindlichen Strang nach Übertage. Da-  
25 durch können Hohlräume mit einem Volumen von mehreren 100'000m<sup>3</sup>  
baumateriallos entstehen. Während der Errichtung sowie während des späteren  
Betriebes erfolgt die Kontrolle der Hohlraumform über Sonarmessungen. Mit  
geomechanischen Berechnungen wird die Stabilität der so geschaffenen  
Hohlräume nachgewiesen. Salzkavernen sind bisher für die Speicherung von  
30 Gasen unter hohem Druck (z.B. Erdgas) aber auch von Flüssigkeiten, die  
gegenüber Salz und Wasser inert sind (z.B. Rohöl, Kraftstoffe, LPG), bestens  
geeignet. Deren Dichte ist durch die plastischen Eigenschaften des  
Salzgesteins gewährleistet.

- [0024]** Mit Salzkavernen können sehr hohe Ein- und Auslagerungsraten erzielt werden, womit sie sich besonders zur Spitzenbedarfsdeckung eignen. Um  $1\text{m}^3$  Hohlraum zu schaffen müssen ca.  $8\text{m}^3$  Süßwasser aufgewendet werden. Die schadlose Beseitigung der anfallenden Salzsole stellt eine wesentliche Aufgabe bei der Kavernenerrichtung dar. Ist im Binnenland eine stoffwirtschaftliche Nutzung der Sole nicht gegeben, so besteht eine weitere umweltfreundliche Möglichkeit in der Verbringung in tiefe poröse oder klüftige Gesteinsformationen, in denen sich schon Salzwasser befindet und deren Dichtheit nachgewiesen ist.
- 5
- 10 Es ist auch ein druckloses Füllen von Kavernen möglich, zum Beispiel von solchen, die mit Salzsole gefüllt sind. Durch das Füllen wird die Sole durch die eingebrachte Biomasse herausgedrückt. Die Sole kann dann filtriert und/oder zentrifugiert werden und einer Nutzung zugeführt werden.
- 15 **[0025]** Es gibt Spezialfirmen, welche in der Aussolung von Kavernen grosse Erfahrung haben. Die Aussolungskosten betragen ca. 10 bis 20 CHF pro  $\text{m}^3$ . Die Erstellungskosten für eine einzelne Kaverne liegen daher in der Grössenordnung von ein paar Millionen CHF, oder weltweit gesehen für die Erstellung von 100 Kavernen wie benötigt, um den  $\text{CO}_2$ -Anstieg in der Atmosphäre zu stoppen, liegen
- 20 die Erstellungskosten bei zirka 5 bis 10 Mia. CHF. Damit ist die technische Machbarkeit für das Erstellen der benötigten mächtigen Kavernen wie auch die ökonomische Machbarkeit ausser Frage gestellt.
- [0026]** Die Anlage zum Betrieb des vorgeschlagenen Verfahrens besteht also aus
- 25 einer gasdichten, vom Grundwasser isolierten Kaverne 1, wie in **Figur 2** gezeigt, sei dieses eine bereits bestehende geeignete Kaverne, oder aber eine eigens zum Betrieb des Verfahrens hergestellte, ausgesolte und somit baumateriallose Kaverne, oder eine mit irgendeinem Baumaterial überirdisch oder unterirdisch erstellte Kaverne oder eine bestehende Salzkaverne in einer Salzformation. Die
- 30 Kaverne 1 weist dann einen Durchmesser von in der Regel 20-100m auf und eine Höhe von 100-600m. Von oben ist diese Kaverne über mindestens ein druckfestes Rohr 2 von zum Beispiel 0.60m  $\varnothing$  zugänglich, um durch dieses Rohr Biomasse in die Kaverne zu pumpen. Ein weiteres Rohr 12 von ähnlichem Durchmesser

enthält eine Anzahl weiterer Rohre von zum Beispiel 2" Ø oder grösser, um Gas und/oder Flüssigkeiten in die Kaverne 1 eintragen oder aus ihr austragen zu können. Eine Zudosiereinrichtung 3 mit Druckschleuse erlaubt es, Biomasse gleich welcher Art in die vorzugsweise - jedoch nicht zwingend - unter einem gegenüber dem Atmosphärendruck erhöhten Druck stehende Kaverne 1 zu befördern. Im gezeigten Beispiel schliesst diese Zudosiereinrichtung 3 eine Einschüttgasse 4 auf, in welcher ein gasförmiger CO<sub>2</sub>-See 5 aufrechterhalten wird, um bestmöglich einen Sauerstoff-Eintrag in die Kaverne 1 zu unterbinden. CO<sub>2</sub> ist mit einer Dichte von 1977 kg/m<sup>3</sup> unter Normbedingungen (1013 mbar, 0 °C) etwa 1,5 mal schwerer als Luft und bleibt daher stets unten. Der Zudosiereinrichtung 3 ist eine Schredderanlage 6 vorgeschaltet, welche die angelieferte Biomasse 7 zu geeignet grossen Einheiten zerkleinert. Die von der Schredderanlage 6 in die Einschüttgasse 4 fallende Biomasse 7 trägt die darin enthaltene Luft nach oben ausgetragen und die Biomasse 7 gelangt schliesslich in die Zudosiereinrichtung 3 mit Druckschleuse. Die Zudosiereinrichtung 3 wird zum Beispiel von einer Feststoffpumpe mit von einem Kurbeltrieb 11 angetriebenem Kolben 10 oder von einer hydraulischen Membranpumpe gebildet. Solche Festkörperpumpen existieren bereits in der Mining-Industrie und sie können etwa 1'000 m<sup>3</sup> Feststoffe gegen 250 bar Druck fördern. Im Zylinder 8 wird die geschredderte und nun weitgehend sauerstoff-freie Biomasse 9 mit Hilfe der Feststoffpumpe gegen den Innendruck in der Kaverne 1 in dieselbe befördert. Das Füllen einer solchen Kaverne kann auch pneumatisch erfolgen, indem die Kaverne mit Biomasse vollgepumpt wird oder diese chargenweise über beispielsweise eine Doppelschleuse eingepresst wird. Die Biomasse fällt durch das Rohr 2 der Verrohrung in das Innere der Kaverne 1. Im Innern der Kaverne 1 wird ein Druck von 20 bis 70bar aufrechterhalten, das heisst dieser Druck bildet sich infolge der einsetzenden Vergärung bald von selbst. Durch die anaerobe Vergärung entsteht aus dem in der Biomasse eingelagerten Kohlenstoff C jeweils 70% Biogas und 30% CO<sub>2</sub>. Über das Rohr 12 und die Pumpe 13 wird das Biogas und CO<sub>2</sub> aus der Kaverne 1 entnommen und einer kommerziellen Nutzung zugeführt. Entweder wird das Biogas nach Standardmethoden zu Methan gereinigt oder wird direkt mit dem CO<sub>2</sub> in Gasmotoren verstromt. Ab der Pumpe 13 kann auch Gas über ein Rücklaufrohr 14 in die Kaverne 1 gepumpt werden.

**[0027]** Es ist auch möglich, eine Salzkaverne, die noch voll Salzsole ist, sogleich für das Einbringen von Biomasse zu nutzen und damit die Salzsole nach oben zu verdrängen und nach und nach abzupumpen. In gleicher Weise kann auch eine  
5 bereits als Erdgaslager verwendete Kaverne genutzt werden, in welche die Biomasse eingebracht wird und damit das Erdgas nach oben verdrängt und abgepumpt wird. Damit lässt sich, wenn solche Kavernen vorliegen, wertvolle Zeit einsparen und das Verfahren lässt sich sehr rasch realisieren. Wird eine Kaverne einige Jahre betrieben und ist dann die Biogasbildung erschöpft, das heisst nach  
10 Füllung der Kaverne 1 und Abschluss des Vergärungsprozesses, so kann der Druck in der Kaverne durch Entnahme von Gas soweit reduziert werden, dass die Kaverne schliesslich mit Salzwasser gefüllt wird und hierbei die Biomasse dicht umschliesst. In einer weiteren erdgeschichtlichen Phase setzt dann die Fossilisierung des in der Biomasse gebundenen Kohlenstoffes ein und es bildet  
15 sich über grosse Zeiträume Kohle, Erdöl und Erdgas. Zudem wird das CO<sub>2</sub>-Äquivalent des eingelagerten Kohlenstoffes der Atmosphäre erspart.

**[0028]** Im Folgenden wird der Betrieb von solchen Kavernen am Beispiel eines Szenarios dargestellt, wie es in der kleinen Schweiz, einem Land mit 7.5 Mio.  
20 Einwohnern und einer Fläche von 41'000km<sup>2</sup> technisch ohne Weiteres möglich ist: Die nachwachsende Menge von Holz beträgt in der Schweiz ca. 10 Mio. Tonnen pro Jahr, was ebenfalls ein Abbaupotential ist. Diese 10 Mio. Tonnen Holz beinhalten ca. 3 bis 4 Mio. Tonnen biologisch gebundenem Kohlenstoff. Weitere 1 bis 2 Mio. Tonnen Biokohlenstoff sind durch Aufsammeln von der zur Verfügung  
25 stehenden Biomasse verfügbar. Somit ist es vorstellbar, in der Schweiz jährlich bis zu 5 Mio. Tonnen biologisch gebundenen Kohlenstoff zu sammeln und anaerob in Kavernen zu lagern und zu vergären. Hierzu müsste pro Kopf der etwa 7 Mio. Personen zählenden Bevölkerung 1 Tonne Biomasse pro Jahr gesammelt und der natürlichen Verrottung entzogen werden, also insgesamt 7 Mio. Tonnen  
30 Biomasse. Der darin enthaltene ca. 2 Mio. Tonnen biologisch gebundene Kohlenstoff korrespondiert mit ca. 7.32 Mio. Tonnen emittiertem CO<sub>2</sub>, wenn man diese Biomasse verbrennen oder aerob verrotten lassen würde. Diese 7.32 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> machen aber bereits 4% der Weltmenge an CO<sub>2</sub> aus, welche

5 einzufangen und einzulagern (capture and storage) notwendig ist, um einen weiteren Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Erdatmosphäre zu verhindern und somit eine drohende gravierende Klimaveränderung mit all ihren katastrophalen Auswirkungen abzuwenden! Jährlich 7 Millionen Tonnen Biomasse in der Schweiz zu sammeln bedeutet ca. 700'000 Lkw-Ladungen, oder pro Tag landesweit ca. 2000 Lkw-Ladungen auf zum Beispiel 10 Kavernen verteilt, das heisst pro Kaverne und Tag 200 Lkw-Fahrten. Vorteilhafter aber wäre ein Eisenbahn- oder Schiffstransport der Biomasse, wo immer möglich. Aber an den obigen Zahlen erkennt man unmittelbar die Machbarkeit des Vorhabens.

10

**[0029]** Würde man in weiteren Ländern im Massstab zur Bevölkerungszahl das Gleiche tun, das heisst pro Kopf nur schon 1 Tonne Biomasse jährlich sammeln und der natürlichen Verrottung entziehen, so wäre das CO<sub>2</sub>-Problem bald gelöst. Nicht nur kann ein weiterer Anstieg innert weniger Jahre verhindert werden, nein, sogar eine wesentliche Senkung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ist mittelfristig möglich.

15

**[0030]** Der zweite eindrückliche Aspekt der Erfindung ist die im Zusammenhang mit der CO<sub>2</sub>-Reduktion einhergehende mengenmässig sehr erhebliche Biogasgewinnung unter kontrollierten Bedingungen, wobei eine unmittelbare kommerzielle Nutzung dieses wertvollen Gases ermöglicht wird. Würde weltweit pro Kopf der Erdbevölkerung jährlich bloss 1 Tonne Biomasse eingesammelt und in der beschriebenen Weise einer anaeroben Vergärung zugeführt, so wären das 7 Milliarden Tonnen pro Jahr. Diese Menge enthält 2.1 Milliarden Tonnen Kohlenstoff. Und daraus entstehen durch anaerobe Fermentierung in der Kaverne 1.13 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>, und unter dem Strich würden der Atmosphäre 3.78 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>, die durch sonst durch aerobe Verrottung entstünden, minus die 1.13 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> aus der Kaverne = 2.65 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> erspart. Desweiteren entstehen in den Kavernen 0.98 Milliarden Tonnen Biogas. Das entspricht energetisch ca. 10% der gegenwärtigen Weltproduktion an fossilen Brennstoffen bzw. 16% des Gas- und Ölverbrauchs weltweit. Schliesslich verbleiben 1.05 Milliarden Tonnen Kohlenstoff, das heisst die Hälfte des total eingelagerten Kohlenstoffes in der Kaverne, und dieser Kohlenstoff wird über die

20

25

30

nachfolgenden grossen erdgeschichtlichen Zeiträume fossilisiert. Zur Erinnerung: 200 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> müssten jährlich vor einer Emission in die Atmosphäre bewahrt werden, um den CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre zu stoppen! Die Welt könnte also mit diesem Verfahren ohne Weiteres das 20-fache und mehr von dem bewältigen was dringend nötig ist, um einen weiteren Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre zu stoppen. Der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration lässt sich durch blosses jährliches Einlagern von einer Tonne Biomasse pro Kopf der Erdbevölkerung stoppen! In wenig entwickelten Ländern mit üppiger Vegetation könnte das Einsammeln belohnt werden und daraus könnten breit angelegte und sinnvolle Beschäftigungsprogramme zum Segen der dortigen Bevölkerung entwickelt werden.

**[0031]** Das hier vorgestellte Verfahren erlaubt auch eine Nutzung der Meeres-Biomasse zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses und zur Energiegewinnung. In **Figur 3** ist hierzu eine schematische Darstellung einer off-shore Biomassen-Kaverne zur CO<sub>2</sub>-Reduktion in der Atmosphäre und zur Biogas-Erzeugung durch Einlagerung von Biomasse gezeigt, namentlich von Algen. Diese sind Biokonzentratoren von Dreck und entstehen mit Schmutzwasser, CO<sub>2</sub> und Licht, und sie enthalten im Trockenzustand bis zu 50% Kohlenstoff. Salzkavernen werden schon jetzt auch unter dem Meeresgrund ausgesolt. Eine solche Salzkaverne lässt sich nach dem gleichen Prinzip wie schon beschrieben als gigantischer Fermenter für Meeres-Biomasse nutzen. Die Kaverne 21 wird unterhalb der wasserdichten Sedimentschicht 20 des Meeresbodens 24 in einer dort vorhandenen stabilen Salzsicht 25 angelegt und nach oben bis über den Meeresspiegel verrohrt. Mindestens ein Rohr 22 dient zur Zufuhr von Biomasse. Mindestens ein Rohr 23 dient zur Entnahme von Biogas. Schiffe 27 sammeln Algen 29 aus dem oberen Schichtbereich des Meeres oder anderer Gewässer ein, indem algenhaltiges Wasser abgepumpt und in die Schiffstanks geladen wird. Für die Algenernte bestehen bereits speziell konstruierte Schiffe 27. Das Algenwasser wird hernach mittels einer Pumpe aus den Schiffen 27 abgepumpt. Die Algen werden abgeschieden und über eine Doppelschleuse 30 in die als Fermenter wirkende Kaverne 21 befördert. Durch die anaerobe Vergärung entsteht Biogas und Kohlendioxid und der Druck steigt in der Kaverne 21 an. Das Biogas wird

einer kommerziellen Nutzung zugeführt, indem es in Schiffe 26 mit Gastanks 28 verladen wird und hernach distributiert wird. Während der Trocknung von Algen beginnt bereits deren Vergärung, deswegen müsste man mit den Algen direkt in einen Fermenter, und zwar in einen grossen. Bisher lohnte sich das nicht, denn

5 der hohe Wassergehalt machte die vergleichsweise kleinen Fermenter uneffizient. Das ändert sich hingegen beim Einsatz von gigantischen Fermentern in Form ganzer Kavernen, bei denen der Wassergehalt egal ist. 55 Mia. Tonnen Algen entstehen in den Meeren alljährlich. Das ist ein gigantisches C-Reservoir, das wie aufgezeigt erstmals intelligent angezapft werden kann.

10

**[0032]** Mit dieser Variante des Verfahrens lassen sich außerdem die enormen Algenbelastungen insbesondere im Mittelmeer vorteilhaft und effizient reduzieren. Da viele dieser Algen zudem grössere Mengen an Sulfaten, Phosphaten und anderen Salzen gebunden haben, können diese damit ebenfalls im gleichen Zug

15 beseitigt werden. Diese Tatsache eröffnet die Möglichkeit, grosse Gewässer und Trinkwasserreservoirs nachhaltig zu reinigen.

20

**[0033]** In **Figur 4** ist eine Massenbilanz des CO<sub>2</sub> Fossilisations-Prozesses gemäss dem hier vorgestellten Verfahren schematisch dargestellt. Dabei wird betrachtet, was mit einer einzelnen Tonne Biomasse passiert, welche verfahrensgemäss der natürlichen Verrottung entzogen wird. Es wird angenommen, diese enthalte 300 kg organisch gebundenen Kohlenstoff, wovon die Hälfte fermentiert wird, die andere Hälfte in den Fossilisierungsprozess übergeführt wird. Aus dieser 1 Tonne Biomasse und ihren 300kg C entstehen sodann durch eine anaerobe Vergärung

25 ca. 140 kg Biogas bzw. Methan CH<sub>4</sub> und ca. 162 kg CO<sub>2</sub>. 150 kg C verbleiben in der Kaverne. Diese dauerhaft eingelagerten 150kg Kohlenstoff entsprechen 540kg „captured and stored“ CO<sub>2</sub>. Dieser Kohlenstoff wird nach dem Kollabieren der Salzkaverne in den Fossilisierungsprozess übergeführt.

25

30

**[0034]** Es kommt nun ein weiterer sehr wichtiger Aspekt in Bezug auf die Treibhausgas-Problematik hinzu. Nach heutiger Erkenntnis sind für den Treibhausgas-Effekt vor allem drei Gase verantwortlich:

- Kohlendioxid CO<sub>2</sub> zu 75%

- Methan CH<sub>4</sub> zu 20%
- Stickstoffoxid N<sub>2</sub>O zu 5-6%

Nicht jedes Gas entfaltet aber die gleich effektive Wirkung in Bezug auf den Treibhauseffekt. Wenn man einem CO<sub>2</sub>-Molekül willkürlich den Wert 1 zuordnet, so muss man dem Methan-Molekül in Bezug auf seine Wirkung als Treibhausgas den Faktor 23 zumessen, und dem Stickstoffoxid gar einen Faktor von 270 bis 310. Die Reduktion eines Methan-Ausstosses in die Atmosphäre zeigt also eine 23-mal stärkere Wirkung in Bezug auf die Treibhauswirkung als jene einer Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses. Man spricht von einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 23. Dieser Sachverhalt kommt dem vorliegenden Verfahren ausserordentlich entgegen und macht die Gesamtbilanz erst recht attraktiv. Man spricht deshalb von einer konsequenten Anwendung einer Multigas-Strategie. Durch das Entziehen von Biomasse aus der natürlichen aeroben Verrottung in der Natur wird entsprechend auch ein Ausstoss von Biogas bzw. Methan in die Atmosphäre verhindert, und zwar um die gleiche Masse wie CO<sub>2</sub>. Aber der eingesparte Ausstoss wirkt sich 23 mal stärker aus als der gleichzeitig eingesparte Ausstoss von CO<sub>2</sub>. Dieses wurde in den dargestellten Berechnungen noch gar nicht berücksichtigt, weil die ganze Treibhaus-Problematik in der Regel auf den Ausstoss von CO<sub>2</sub> reduziert wird, welches am Treibhauseffekt den Löwenanteil von 75% hat.

**[0035]** Neben Salzkavernen und alten Ölfeldern kommen auch alte Bergbauminen zur Verwendung als CO<sub>2</sub>-Senke in Frage. Bei jeder Kaverne muss die entsprechende geologische Überprüfung auf ihre Eignung vorgenommen werden. Nur wenn diese Kavernen mit Sicherheit nicht über das Grundwasser mit der Biosphäre in Kontakt steht und die Senke weitgehend gasdicht ist und nach Möglichkeit in einem geologisch beruhigten Gebiet liegt, ist sie für das hier beschriebene Verfahren geeignet. Ist eine solche Senke gefunden, so kann deren Füllung mit Biomasse sofort begonnen werden. Mit dem erfindungsgemässen Verfahren ist die nutzbare Biomasse weder in ihrer Form noch in der chemischen Zusammensetzung eingeschränkt. Und so können über die Algen sowohl Phosphate wie auch Nitrate mit in die Senke eingespiesen werden. Gerade in den Gebieten wie der Adria, in gewissen Ostseebuchten oder in der Saragossa sind

riesige Algenvorräte vorhanden, die durch ihren Abbau nicht nur eine CO<sub>2</sub> Emissionsreduktion bewirken würden, sondern zusätzlich eine Verbesserung der Wasser- und Luftqualität. Während des Füllvorganges wird man normalerweise während einer Zeit von zirka 1 bis 10 Jahren Biogas bzw. Methangas gewinnen.

5 Ist die Biogasentwicklung jedoch weitgehend abgeschlossen, so wird man die Senke endgültig versiegeln und die Kaverne durch Druckabfall zum Einsturz bringen lassen, sodass ihr Inhalt vollständig und dauerhaft dichtend umschlossen wird.

10 **[0036]** Weitere sehr wichtige Aspekte des grundsätzlichen Verfahrens sind Folgende:

1. Die nach dem erfindungsgemässen Verfahren betriebenen Kavernen wirken als gigantische Fermenter und CO<sub>2</sub>-Senken, und nur solche können einen wirklich substantiellen Beitrag an die weltweite Treibhausgas-Problematik

15

liefern.

2. Das erfindungsgemässe Verfahren ist mit jeglicher Art Biomasse betreibbar und somit nicht eingeschränkt, weder in Bezug auf die Beschaffenheit, noch die Grösse, noch die Qualität der Biomasse, ob nass trocken, pflanzlich oder tierisch. Alles und jedes was biologisch abbaubar ist, kann in diese

20

gigantischen Fermenter eingebracht werden.

3. Das erfindungsgemässe Verfahren ist komplett saisonunabhängig betreibbar. Fällt viel Biomasse zum Entsorgen an, so kann viel in den Fermenter befördert werden, fällt wenig an, etwa im Winter, so wird wenig bis nichts hineingefördert. Der Vergärungsprozess schreitet ohnehin voran und es wird

25

ständig Biogas bzw. Methan erzeugt.

4. Die nach dem erfindungsgemässen Verfahren betriebenen Kavernen wirken als gigantische Langzeitspeicher für Biogas bzw. Methan. Die Speicherung von Energie ist stets ein wichtiges Thema. Gerade elektrische Energie ist kaum in grossen Beträgen speicherbar. In den Kavernen aber können

30

gigantische Energiemengen zu äusserst tiefen Kosten gespeichert werden. Methan kann jederzeit entnommen werden oder auch nicht. Ohne Entnahme steigt der Innendruck in der Kaverne langsam an, und er darf bis zu ca. 200 bar erreichen.

5. Das erfindungsgemässe Verfahren ermöglicht mit der Erzeugung von Biogas bzw. Methan aus nachwachsender Biomasse die Bereitstellung erneuerbarer Energie in bisher nicht bekannten Quantitäten. (1 Mio. Tonnen Biomasse in einer Kaverne mit 1 Mio. m<sup>3</sup> Inhalt erzeugt jährlich ca. 140'000 Tonnen Biogas bzw. Methan, und das wegen der laufenden Nachfüllung von Biomasse über Jahre hinweg.)
6. Das erfindungsgemässe Verfahren ist kaum geographisch gebunden und kann in allen Erdteilen umgesetzt werden, wo Vegetation vorkommt, sei es auf dem Festland, oder in Gewässern, wo Algen vorkommen, oder in den Meeren, welche ein enormes Potential aufweisen, das derzeit noch brach liegt.
7. Das erfindungsgemässe Verfahren ist kommerziell hochinteressant und daher gewerblich anwendbar, wie nachfolgend dargestellt wird.
- 15 **[0037]** Nachfolgend wird eine grobe Betrachtung über die Investitions- und Betriebskosten des Verfahrens angestellt. Sie zeigt, dass das Verfahren ohne jeden Zweifel gewerblich anwendbar ist, und zwar hochrentabel. Dabei wird die Annahme zugrundegelegt, man betreibe eine Kaverne von 1 Mio. m<sup>3</sup> Inhalt, und diese würde nach und nach mit 600'000 Tonnen Kohlenstoff in Biomasse gebunden gefüllt.
- 20

**[0038]** Der Aufwand: Die Investitionskosten bei erhärteten Erstellungskosten einer Salzkaverne von CHF 30 bis 50/m<sup>3</sup> betragen CHF 30 bis 50 Mio. Das Sammeln von Biomasse, der Antransport, das Befüllen und Betreiben kostet weitere CHF 20 bis 50 Mio., was also Gesamtkosten von CHF 50 bis 100 Mio. ergibt. Nicht berücksichtigt bei dieser Überschlagsrechnung sind:

25

- Allfällige Einnahmen aus kostenpflichtigem Bioabfall, wie zum Beispiel Laub, Stadtreinigungsabfall, Klärschlamm, etc.
  - Allfällige stromproduzierende Infrastruktur zur Verstromung des erzeugten Methans (geschätzte Kosten CHF 5 bis 10 Mio).
  - Methangasreinigungs- und Veredelungskosten (5-20% des Methanwertes).
  - Optimierung des Verkaufszeitpunktes des Methans, was durch die Langzeitspeicherung bedeutsam ist. Es kann je nach Abgabezeit
- 30

(Tag/Nacht – Sommer/Winter) bis zum doppelten Preis gelöst werden.

**[0039]** Der Ertrag: Von dem in Biomasse gebundenen Kohlenstoff von 600'000 Tonnen verbleiben 50% in der Kaverne und fossilisieren. Die verbleibenden  
 5 300'000 Tonnen würden an der Erdoberfläche durch aerobe Verrottung in der Natur CO<sub>2</sub> emittieren, nämlich 300'000 Tonnen C x 3.6 = 1.08 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>. Pro solche eingesparte Tonne werden heute von Regierungen CHF 40 bis CHF 100 bezahlt.

10 **[0040]** Die gesamte CO<sub>2</sub>-Bilanz des erfindungsgemässen Verfahrens sieht dann so aus:

Zunächst verhinderter CO <sub>2</sub> -Ausstoss (Fossilisation):	1.080 Mio. T CO <sub>2</sub>
Minus CO <sub>2</sub> -Ausstoss bei Vergärung:	<u>0.324 Mio. T CO<sub>2</sub></u>
Total vermiedener CO <sub>2</sub> -Ausstoss:	0.756 Mio. T CO <sub>2</sub>

15

**[0041]** Ertragsrechnung, ohne Berücksichtigung irgendwelcher Subventionen für erneuerbare Energien oder garantierte Strompreise.

CO<sub>2</sub>-Zertifikate: 756'000 T x CHF 10/T = CHF 7.56 Mio.

(könnte aber auch das 10-fache sein, daher

20 nur als Grössenordnung zu verstehen).

Erzeugtes Methan: 280'000 T CH<sub>4</sub> zu CHF 1000/T CHF 280.00 Mio.

(Das emittierte CO<sub>2</sub> wurde schon im Aufwand berücksichtigt).

Vermiedene Methanemission aus 600'000 T C in Biomasse

in der freien Natur: 9.2 Mia. T CO<sub>2</sub> x CHF 10/T CHF 92.00 Mio.

25 (600 kg C emittieren 400kg CH<sub>4</sub> x Äquivalenzfaktor 23, entspricht 9200 kg CO<sub>2</sub>)

Gesamtertrag CHF 379.56 Mio.

Dieser Gesamtbetrag ergibt sich aus den getroffenen Annahmen zur Erläuterung des Zustandekommens der Deckungsbeiträge, weist aber nicht auf die Klasse der  
 30 Genauigkeit hin.

**[0042]** Dieser Gesamtertrag steht Gesamtkosten von minimal CHF 50 Mio. und maximal CHF 100 Mio. gegenüber. Die Zeitdauer zur Erstellung einer Anlage

sollte 2 bis 3 Jahre nicht überschreiten. Weltweit könnten ohne weiteres 100 solche Anlagen oder mehr erstellt und betrieben werden. Die Verstromung des im Beispiel erzeugten Biogases bzw. Methans ergibt folgende Rechnung:  $1\text{m}^3$  Methan ergibt ca. 6 kWh elektrische Energie. Daher: 280'000 T Methan ergeben  
5 2,352 Milliarden kWh thermische Energie. Die daraus erzeugbare elektrische Energie ist 1/3, das heisst 784 Mio. kWh, die kWh zu ca. CHF 0.10 bis 0.20 = 78 bis 156 Mio. CHF. In der Schweiz wird für Strom, der aus Biogas erzeugt wurde, ein Abnahmepreis von CHF 1.-/kWh garantiert. Dann wäre der Deckungsbeitrag aus der Verstromung sage und schreibe 783 Mio. CHF! Es ist ausserdem  
10 vorstellbar, dass Länder, welche derartige Kavernen mit Biomasse füllen, entsprechende CO<sub>2</sub>-Emissionsgutschriften erhalten, die sie mit anderen Ländern, die eine hohe CO<sub>2</sub> Emissionsrate aufweisen, handeln können.

**[0043]** Ingesamt und sehr summarisch lässt sich abschließend Folgendes  
15 überschlagsmässig festhalten: Die 100 Kavernen, die es weltweit braucht, um den weiteren CO<sub>2</sub>-Anstieg zu stoppen, kosten 20 Mia. CHF, aber diese Anlagen bringen pro Jahr 50 Mia. CHF an Erlösen. Die erzeugte und nutzbare Methanmenge würde bei diesem Bestand an Anlagen 50% von sämtlichen fossilen Brennstoffen decken, die derzeit zum Transport weltweit verbraucht  
20 werden. Methan kann auch zum Heizen oder zum Verstromen eingesetzt werden. In diesem Fall wird eine Infrastruktur zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Methangas nach dem Stand der Technik in die Anlage integriert. Der aus Methangas bzw. Biogas erzeugte elektrische Strom wird sogar subventioniert und in der Schweiz wie auch anderswo zu garantierten Preisen von 1 CHF/kWh ins  
25 Netz eingespeist. Das ist etwa das 20-fache des Nachtstrompreises. Ingesamt löst dieses technische Verfahren wie hier vorgestellt nicht nur ein Menschheits-Problem, sondern gleichzeitig kann damit auch Geld verdient werden. Damit ist auch die gewerbliche Anwendbarkeit des Verfahrens nachweislich gegeben, und zwar weit über alle Erwartungen hinaus.

30

## Patentansprüche

1. Verfahren zur CO<sub>2</sub>- und/oder Methangas-Reduktion in der Atmosphäre, bei  
5 welchem Biomasse einer Verrottung entzogen wird, indem sie in einer vom Grundwasser isolierten Kaverne oder einem Behälter (1,21) von wenigstens 1000m<sup>3</sup> Volumen anaerob eingelagert wird, sodass der organisch darin gebundene Kohlenstoff als CO<sub>2</sub>-Äquivalent dauerhaft in der Kaverne (1,21) eingeschlossen bleibt.  
10
2. Verfahren zur Gewinnung von Biogas, bei welchem Biomasse in einer unterirdischen, vom Grundwasser isolierten und als Fermenter gestalteten Kaverne (1,21) oder einem Behälter von wenigstens 1000m<sup>3</sup> Volumen gesammelt und anaerob eingelagert wird, wobei ein Anteil durch Vergärung  
15 zu Biogas umgewandelt und abgezogen wird.
3. Verfahren zur CO<sub>2</sub>- und/oder Methangas-Reduktion in der Atmosphäre unter Gewinnung von Biogas, bei welchem Biomasse einer aeroben Verrottung entzogen wird, indem diese Biomasse in einer unterirdischen, vom  
20 Grundwasser isolierten und als Fermenter gestalteten Kaverne (1,21) oder einem Behälter von wenigstens 1000m<sup>3</sup> Volumen gesammelt und anaerob eingelagert wird, wobei ein Biomassenanteil durch Vergärung zu Biogas umgewandelt und abgezogen wird, und der restliche Biomassenanteil mit seinem organisch gebundenen Kohlenstoff als CO<sub>2</sub>-Äquivalent in der  
25 Kaverne dauerhaft eingeschlossen bleibt.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Biomasse durch ein gasförmiges CO<sub>2</sub>-Bad (5) oder H<sub>2</sub>O-Bad und über eine Druckschleuse der unter einem Druck über dem  
30 Atmosphärendruck stehenden Kaverne (1,21) oder Behälter zudosiert wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Biomasse durch ein gasförmiges CO<sub>2</sub>-Bad (5) oder

H<sub>2</sub>O-Bad mittels einer Festkörperpumpe (11) als Druckschleuse der unter einem Druck über dem Atmosphärendruck stehenden Kaverne (1) oder Behälter zudosiert wird.

- 5 6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kaverne (1,21) eine durch Aussolung eigens für den Betrieb des Verfahrens baumateriallos erstellte oder zu früheren Zeiten für andere Zwecke gewonnene Salzkaverne ist, welche unter dem Erd- oder Meeresboden liegt.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Salzkaverne, die noch voll Salzsole ist, die Salzsole durch Beaufschlagen des Solespiegels nach oben verdrängt und abgepumpt wird und der gewonnene Raum mit Biomasse drucklos aufgefüllt wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kaverne (1,21) eine bereits als Erdgaslager verwendete Kaverne ist, in welche die Biomasse eingebracht wird und damit das Erdgas nach oben verdrängt und abgenommen wird.
- 20 9. Anlage zum Betreiben des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6 sowie 8, dadurch gekennzeichnet, dass sie einschliesst:
- 25 a) eine gasdichte, vom Grundwasser isolierte, unter dem Erd- oder Meeresboden in stabilen Schichten liegende baumateriallos erstellte Kaverne (1,21) oder einen unter- oder überirdisch künstlich angelegten grossen Behälter,
- 30 b) mindestens ein Zufuhrrohr (2,22) für das Einbringen von Biomasse,
- c) mindestens ein Zudosiereinrichtung (3) mit Druckschleuse zum Einbringen von Biomasse bei gleichem oder unter höherem Druck als Atmosphärendruck stehendem Kavernen- oder Behälterinnern,
- d) mindestens ein Abführrohr (12,23) mit Pumpe (13) zur Entnahme von Gasen aus der Kaverne (1,21) oder dem Behälter.

10. Anlage nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Kaverne (1,21) oder der Behälter von einer der folgenden Arten ist:
- eine durch Aussolung erzeugte, baumateriallos erstellte Salzkaverne, sodass sie infolge der baumateriallosen Erstellung in einer beliebigen Grösse zwischen 1000m<sup>3</sup> bis 100 Mio. m<sup>3</sup> erstell- und betreibbar ist,
  - eine natürlich vorkommende Salzkaverne in einem Salzstock ist,
  - eine natürlich vorkommende Kaverne in einer geologischen Formation,
  - eine ausgediente Miene oder eine ausgediente Öl- oder Gaslagerstätte, wobei eine Zudosiereinrichtung (3) mit Druckschleuse eine Festkörperpumpe mit hydraulischer Membrane vorhanden ist.
11. Verwendung einer Anlage zum Betreiben des Verfahrens nach einem der Ansprüche 2 bis 8 zum Speichern von Biogas über beliebige Zeiträume sowie zum bedarfsweisen Spenden von Biogas für eine kommerzielle Nutzung, bedarfsweise zum Verstromen des erzeugten Biogases.
12. Verwendung einer Anlage zum Betreiben des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Reinigung von Gewässern und Trinkwasserreservoirs durch Entnahme von Algen und Einlagerung derselben in einer Kaverne (1,21) zur anaeroben Vergärung.
13. Verwendung einer Anlage zum Betreiben des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Langzeitlagerung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in Form von in Biomasse gebundenem Kohlenstoff über mindestens 1 Mio. Jahre zur Einleitung der Umwandlung des Kohlenstoffes zu Kohle, Öl und Erdgas durch Fossilisierung.
14. Verwendung einer Anlage zum Betreiben des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Entgiftung oder Entsalzung von Böden, indem auf diesem Boden gewachsene Biomasse, welche Giftstoffe oder Salze aufgenommen hat, in der Anlage eingelagert wird.
15. Verwendung einer Anlage zum Betreiben des Verfahrens nach einem der

5 Ansprüche 1 bis 8 zum gezielten Unterstützen von methanbildenden Prozessen für Zellulose, Lignin etc. durch Einbringen von methanproduzierenden Bakterien aus Termiten und/oder Mägen von Pflanzenfressern, sowie gezielter Injektion von Sauerstoff unterhalb der Explosionsgrenze.

**Fig. 1**

**Kohlenstoff in Biomasse  
Planet Biomassekohlenstoff Flussdiagramm**

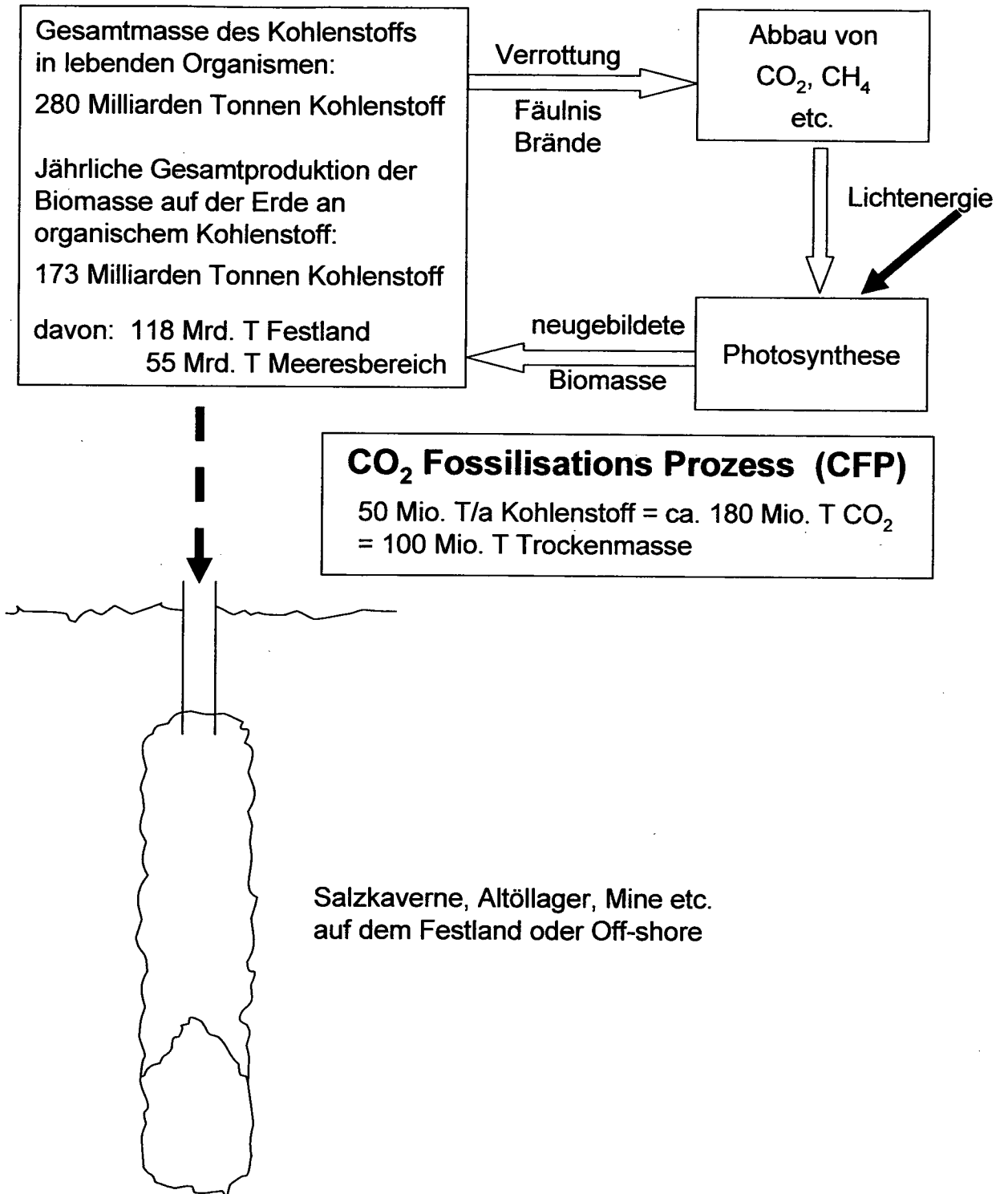
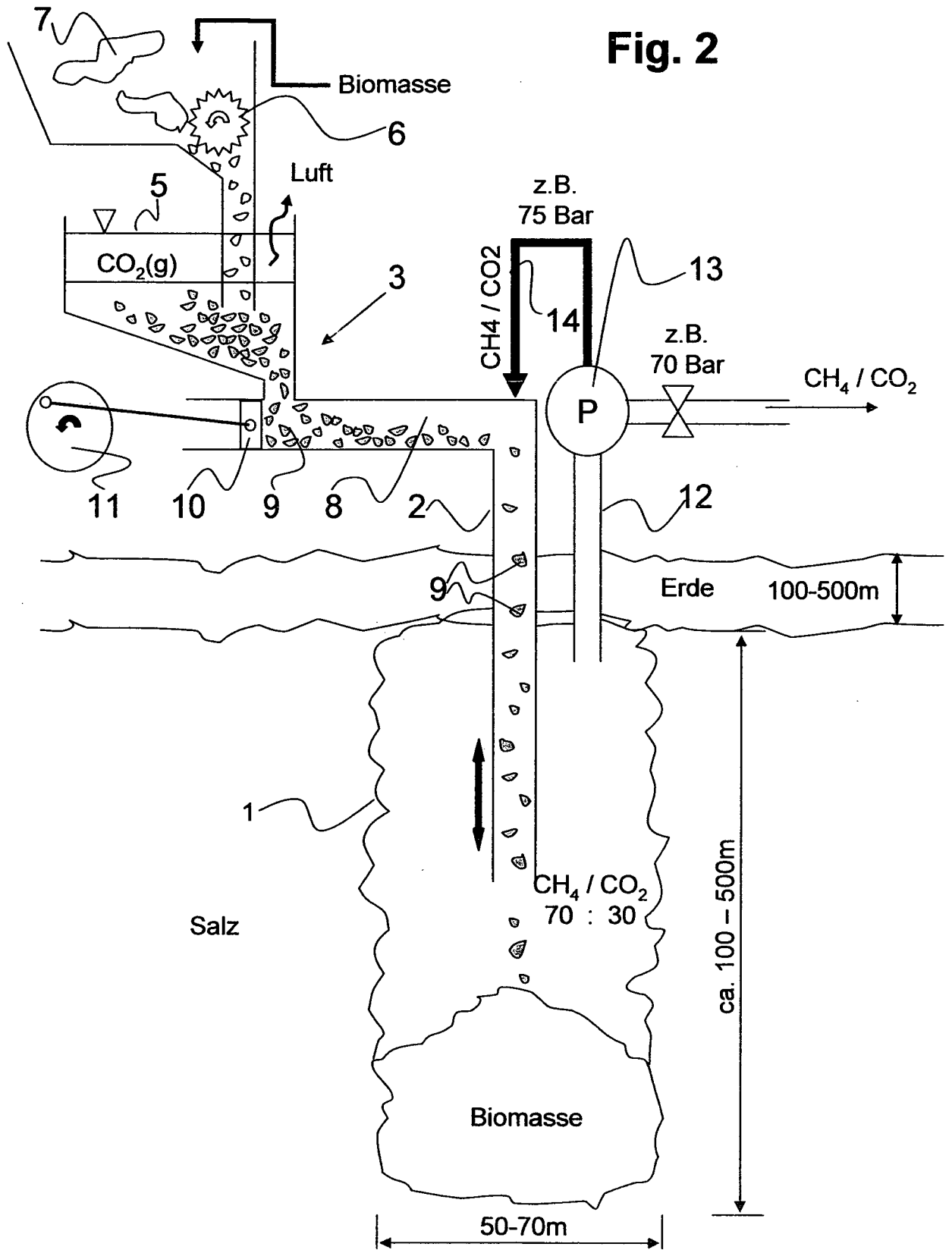
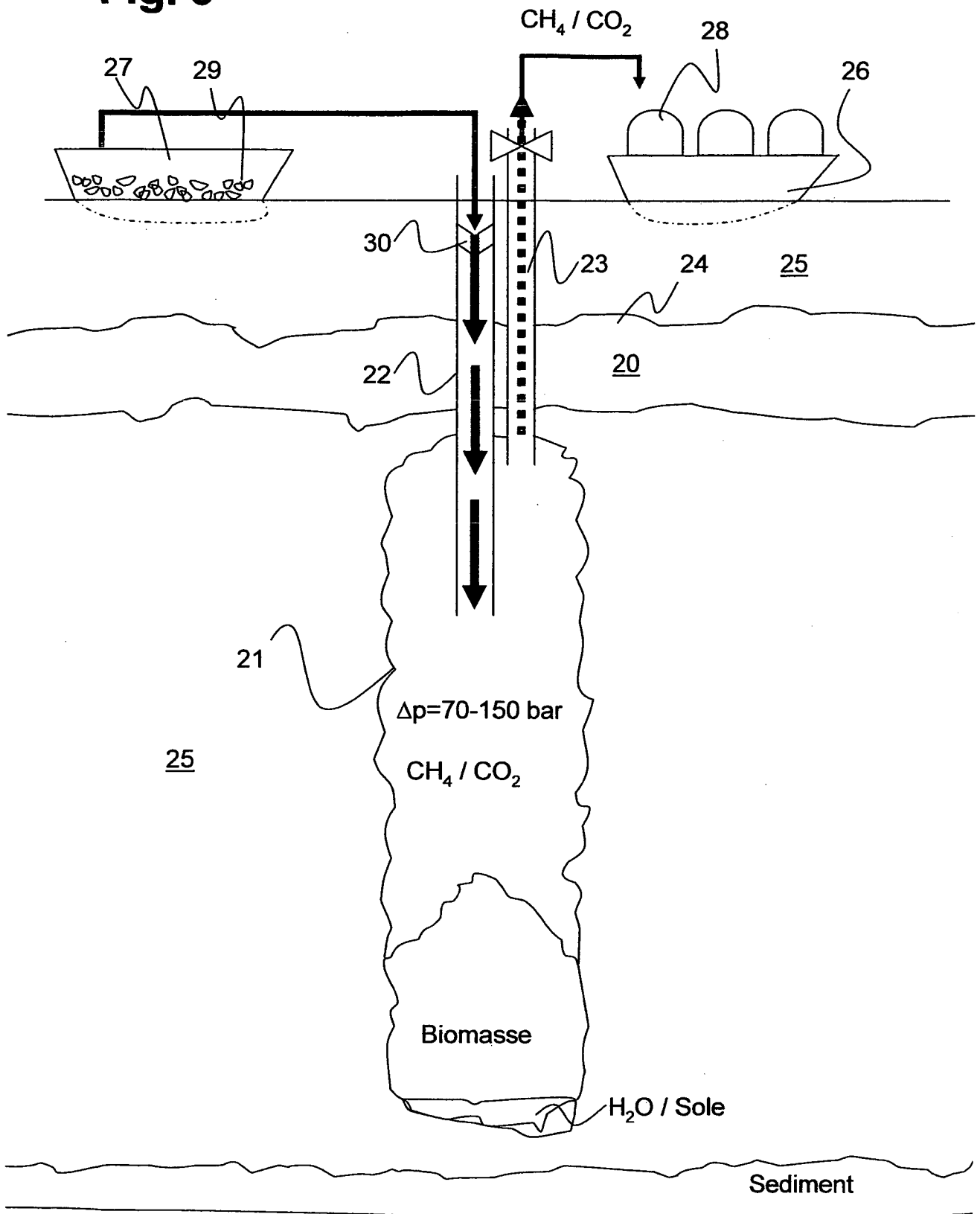


Fig. 2



**Fig. 3**



**Fig. 4**

**Massenbilanz des CO<sub>2</sub> Fossilisations Prozesses**

1 Tonne Biomasse = 300kg C

