



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 000 131.9**
(22) Anmeldetag: **10.01.2020**
(43) Offenlegungstag: **15.07.2021**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **30.12.2021**

(51) Int Cl.: **F01K 25/10 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Xi, Zhenhua, Dr., 60439 Frankfurt, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(72) Erfinder:
Antrag auf Nichtnennung

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren auf einem Anlagensystem ausgeführt wird, welches die folgenden drei Anlagen enthält:

1.1 S-Speicheranlage, die aus mehreren S-Speichern mit folgenden Merkmalen besteht:

1.1.1 Drei Behälter unterschiedlicher Größe, die ineinander mit bestimmten Abständen gebaut werden. Sie haben Zylinderformgestalt, und

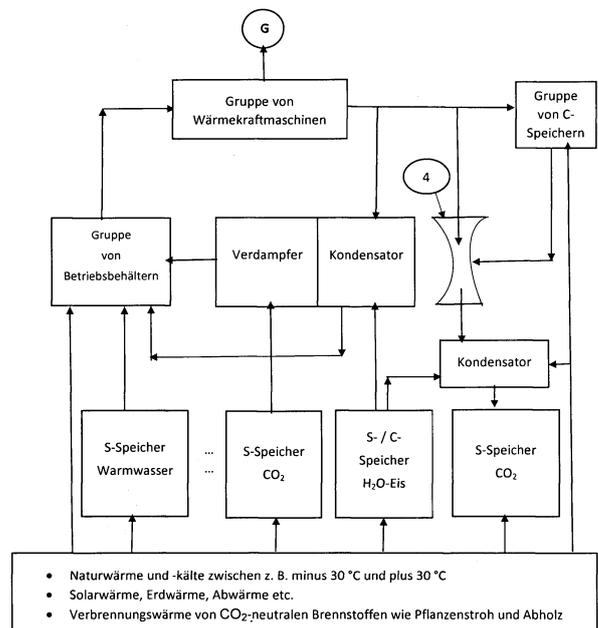
1.1.2 der innerste Zylinder wird Zylinder 1 genannt, der Raum innerhalb des Zylinders 1 wird als Raum 1 bezeichnet. Der nächstgrößere Zylinder wird Zylinder 2 genannt, der Raum zwischen Zylindern 1 und 2 wird als Raum 2 bezeichnet. Der nächstgrößere und äußerste Zylinder wird Zylinder 3 genannt, der Raum zwischen Zylindern 2 und 3 wird als Raum 3 bezeichnet, und

1.1.3 die drei Zylinderbehälter können jeweils eine eigene Decke und einen eigenen Boden aufweisen, oder eine gemeinsame Decke und/oder einen gemeinsamen Boden besitzen. Im Fall der Gemeinsamkeit ist die Decke oder der Boden wärmeisoliert gegen die Außenseiten, und

1.1.4 der Raum 1 dient zum Speichern der CO₂-Flüssigkeit von der Kaltzeit wie Winter bis zur Warmzeit wie Sommer und zum Speichern von Warmwasser von der Warmzeit wie Sommer bis zur Kaltzeit wie Winter, und

1.1.5 der Raum 2 dient zum Speichern von Wassereis von der Kaltzeit wie Winter bis zur Warmzeit wie Sommer und zum Speichern von Warmwasser von der Warmzeit wie Sommer bis zur Kaltzeit wie Winter, und

1.1.6 der Raum ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 035 273	A1
DE	10 2009 057 613	A1
DE	10 2017 003 238	A1
DE	38 71 538	T2
US	2012 / 0 090 352	A1
EP	2 703 610	A1

FISCHEDICK, Manfred ; GÖRNER, Klaus ; THOMECEK, Margit (Hrsg.): CO₂: Abtrennung, Speicherung, Nutzung - Ganzheitliche Bewertung im Bereich von Energiewirtschaft und Industrie. Berlin: Springer Vieweg, 2015. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-642-19527-3. DOI: 10.1007/978-3-642-19528-0

GROLLIUS, Horst-W.: Grundlagen der Pneumatik. 3. aktual. Aufl. München: Hanser, 2012. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-446-43236-9

HAMMERSCHMIDT, Klaus Jörg: Der CO₂-Motoren und seine Anwendung. Villingen-Schwenningen : Neckar-Verl., 1992. Deckblatt u. Inhaltsverzeichnis. - ISBN 3-7883-0632-7

HAUER, Andreas ; HIEBLER, Stefan ; REUß, Manfred: Wärmespeicher. 5., vollst. überarb. Auflage. Stuttgart : Fraunhofer IRB, 2013. Deckblatt u. Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-816-78366-4

IKET GmbH (Hrsg.): Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik - Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften. 19. neu bearb. und erw. Aufl. Heidelberg : C.F.Müller, 2008. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-7880-7824-9

LUCAS, Klaus: Thermodynamik - Die Grundgesetze der Energie- und Stoffumwandlungen. 6., bearb. Aufl.. Berlin: Springer, 2007. Deckblatt u. Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-540-73515-1. DOI: 10.1007/978-3-540-73516-8. URL: <https://rd.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-540-73516-8%2F1.pdf> [abgerufen am 2017-08-14]

NITSCHKE, Manfred: Wärmetausch-Fibel I - für die Planung und Auslegung in der Praxis. Essen : Vulkan-Verlag, 2012. Deckblatt u. Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-8027-2775-7

NITSCHKE, Manfred: Wärmetausch-Fibel II - für die tägliche Praxis. Essen : Vulkan-Verlag, 2013. Deckblatt u. Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-8027-2776-4. URL: <https://www.gbv.de/dms/tib-ub-hannover/728537702.pdf> [abgerufen am 2020-02-26]

STERNER, Michael ; STADLER, Ingo (Hrsg.) : Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration. 2. korr. u. ergänzte Aufl. Berlin : Springer Vieweg, 2017. Deckblatt u. Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-662-48892-8.

DOI: 10.1007/978-3-662-48893-5. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-662-48893-5%2F1.pdf> [abgerufen am 2020-02-24]

TILLNER-ROTH, Reiner: Fundamental equations of state. Aachen: Shaker, 1998. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 3-8265-4398-X

Verein Deutscher Ingenieure - VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) (Hrsg.): VDI-Wärmeatlas, 11. bearb. u. erw. Aufl., Berlin: Springer Vieweg, 2013. Deckblatt u. Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-642-19980-6. DOI: 10.1007/978-3-642-19981-3. URL: <https://rd.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-642-19981-3%2F1.pdf> [abgerufen am 2017-08-14]

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verflüssigung und Speicherung von Kohlendioxid als Energieträger und als Arbeitsmedium für die Umwandlung von Naturwärmeenergie in Arbeit durch Wärmekraftmaschinen in einem CO₂-Kraftwerk. Dabei wird eine große Menge Kohlendioxid mit hohem Druck und passender Temperatur benötigt. Nach seiner Entspannung wird aber auch eine große Menge Kälte zu seiner Verflüssigung gebraucht. Dazu werden die zeitlichen bzw. örtlichen Überbrückungen mittels CO₂-Speicherung bzw. CO₂-Transportsystem beitragen, siehe hierfür die Beschreibung des Patents ([4]) DE 10 2017 003 238 A1. Dort ist ein neues Kreislaufmodell aufgestellt, welches den Clausius-Rankine-Kreislauf erweitert und sich diskreter und speicherbarer Kreislauf mit der Abkürzung DSK nennt. DSK ist deswegen diskret bzw. speicherbar, weil er batchweise und parallel mit mehreren CO₂-Strömen arbeitet bzw. weil seine CO₂-Behälter Kohlendioxid beliebig lange speichern können.

[0002] Im o.g. Patent sind die relevanten Patente mit Kurzbeschreibungen genannt, um den Stand der Technik darzustellen. Zusätzlich werden hier zwei Patente für die Nutzung der Kohlendioxide als Arbeitsmedium und als Energieträger kurz zusammengefasst: In dem Patent ([1]) DE 10 2006 035 273 A1 wird die überschüssige Elektrizität ausgenutzt, um den Hochdruck von Kohlendioxid, Erdgas und Druckluft zu erzeugen. Somit wird die elektrische Energie in die Druckenergie umgewandelt, die sich in jeweiligen Speichern aufbewahren und weiter zweckmäßig verwenden lässt. Insbesondere wird dabei betont, dass die gespeicherten Kohlendioxide als Arbeitsmedium flexibel zur Erzeugung der Elektrizität unter der Nutzung von Niedertemperaturwärme aus den Kraftwerken und Ihren Umgebungen verwendet werden können, um z.B. den Gesamtwirkungsgrad von den Kraftwerken zu erhöhen und den Spitzenbedarf an elektrischem Strom zu decken. Dabei lassen sich zur Wiederverflüssigung von dem in den Turbinen entspannten Kohlendioxid-Fluid die verschiedenen Entspannungskälten aus den Druckenergien integriert benutzen; Im zweiten Patent ([2]) EP 2 703 610 A1 verwendet man ein unterirdisches Reservoir als Zwischenspeicherungsraum für die CO₂-Flüssigkeit aus den verschiedenen CCS-Systemen. Dann je nach dem elektrischen Strombedarf wird kurzfristig die im Reservoir gespeicherte CO₂-Flüssigkeit ausgeführt und durch die Naturwärme, Abwärme oder andere Niedertemperaturwärmen verdampft, um die Elektrizität über eine Turbine mit Generator zu erzeugen. Damit kann kurzfristiger elektrischer Strombedarf gedeckt werden. Das über die Turbine entspannte CO₂-Fluid wird über die Verdampfungskälte der CO₂-Flüssigkeit abgekühlt und zur Flüssigkeit verdichtet, welche anschließend zum Reservoir zurückgeführt und weiter abgekühlt wird. Dabei wird demonstriert, dass Kohlendioxide als Arbeitsmedium zur Umwandlung der Wärmeenergie im Niedertemperaturbereich in die mechanische Energie unter bestimmten Voraussetzungen wirtschaftlich effizient ausgenutzt werden können. Darüber hinaus wird hier ausdrücklich auf die saisonalen Wärmespeicher unter <http://www.saisonalspeicher.de> verwiesen. Dort kann beispielsweise Solarwärme während Sommerzeiten gespeichert und dann in Winterzeiten genutzt werden. Es wird auch betont, dass ihre Wirtschaftlichkeit durch ihre Volumengröße als einen der wichtigsten Faktoren mitbestimmt wird. Zum Beispiel ist dort ein saisonaler Wärmespeicher mit einer Größe ab 1000 Kubikmeter gefordert, um die Wärmeverluste durch die Oberfläche des Wärmespeichers im Vergleich zur im Volumen gespeicherten Energiemenge zu minimieren. Die für CO₂- bzw. WasserSpeicherung gebauten Speicher sind im Vergleich dazu vielfach größer und besitzen zwei Typen. Der erste Typ wird als S-Speicher bezeichnet, der zur Speicherung von Warmwasser, Wassereis und CO₂-Flüssigkeit in unterschiedlichen Jahreszeiten dient. Der zweite Typ wird C-Speicher genannt und dient z.B. der Speicherung von CO₂-Gas. Er kann eventuell sehr große Volumen besitzen und sich unter Umständen auch zur Speicherung von Warmwasser, Wassereis oder anderen Speichermedien verwenden lassen. Später werden die S- bzw. C-Speicher mithilfe von **Fig. 1** noch detaillierter erläutert.

[0003] Im CO₂-Kraftwerk lassen sich neben der o.g. gespeicherten Wärme und Kälte auch andere Arten der Wärme oder Kälte verwenden, wie z.B. die Luftwärme, Abwärme, Erdwärme, Wärme aus Verbrennung der CO₂-neutralen Brennstoffe wie Pflanzenstroh und Abholz, oder CO₂-Verdampfungskälte, CO₂-Expansionskälte von Wärmekraftmaschinen, die Kälte von Kaltwasser, winterlicher Luft oder anderen Kältemitteln. Zur Beschreibung der vorliegenden Erfindung wird im Folgenden angenommen, dass die Lufttemperatur minus 30 °C in Winterzeiten und plus 30 °C in Sommerzeiten erreichen kann. Dann sieht das Verfahren der vorliegenden Erfindung wie folgt aus:

Schritt 1 für die Wärmespeicherung in Warmzeiten: Wärme, wie etwa Solarwärme in der Warmzeit wie Sommer mit einer Temperatur z.B. über 90 °C jedoch unter 100 °C, wird mit einem flüssigen Speichermedium wie zum Beispiel Wasser in Raum 1 und 2 der S-Speicher und eventuell auch in C-Speichern aufbewahrt. Siehe später die Erklärung zur **Fig. 1** für S-Speicher und Erklärung für C-Speicher.

Schritt 2 für CO₂-Heizen in Kaltzeiten: Das durch Schritt 1 gespeicherte Warmwasser im Raum 1 wird zum CO₂-Heizen in der Kaltzeit wie Winter aus dem Raum 1 ganz ausgeleitet. Die Wasserwärme im Raum 2 und eventuell in C-Speichern kann ebenfalls zum CO₂-Heizen benutzt werden. Ebenso benutzt werden

können die o.g. anderen Arten der Wärme, um die CO₂-Temperatur auf etwa 90 °C zu erhöhen. Ob CO₂ noch weiter über 90 °C oder darunter zu heizen ist, hängt von den jeweiligen Umständen ab, z.B. abhängig vom Einsatz einer Solartherme-Anlage oder abhängig vom Einsatz eines Heizkessels zur Verbrennung der CO₂-neutralen Brennstoffe. Schritt 3 für CO₂-Entspannung: Die geheizten CO₂-Frischfluide z.B. in Schritt 2 werden sich in den Wärmekraftmaschinen des CO₂-Kraftwerks entspannen und dabei Arbeit an eine Welle übertragen, um Elektrizität zu erzeugen.

Schritt 4 für CO₂-Gaskondensation oder -speicherung: Die in Schritt 3 entspannten CO₂-Fluide haben einen Druck zwischen 1 bis 60 bar. Sie können in einen C-Speicher zur Speicherung geleitet werden oder man führt sie in einen Kondensator ein, um sie dort mittels verschiedener Kälte zu verflüssigen, wie z.B. Wasser- und insbesondere Wassereiskälte, Luftkälte, CO₂-Expansionskälte aus Wärmekraftmaschinen oder CO₂-Verdampfungskälte. Das in C-Speichern aufbewahrte CO₂-Gas kann in der Kaltzeit wie Winter mit winterlicher Luftkälte wieder verflüssigt werden.

Schritt 5 für CO₂-Flüssigkeitspeicherung in Kaltzeiten: Die verflüssigten CO₂-Fluide können in der Kaltzeit wie Winter in Raum 1 der S-Speicher gespeichert werden, welcher zuvor in Schritt 2 mit dem Ausfluss von Warmwasser zum CO₂-Heizen leer geworden ist. Oder sie können auch wie in Schritt 2 zum CO₂-Heizen geführt werden. Schritt 6 für Wassereis-Speicherung in Kaltzeiten: Das durch Schritt 2 kalt gewordene Wasser im Raum 2 lässt sich mit winterlicher Kälte sukzessiv erstarren und dabei wird eventuell eine zusätzliche Wassermenge eingelassen. Somit ist er mit Wassereis vollgefüllt, durch welches die durch Schritt 5 im Raum 1 gespeicherte CO₂-Flüssigkeit umgeben wird, die sich dann mit einem niedrigen Druck von etwa 15 bar bis zur kommenden Sommerzeit speichern lässt, denn sie ist durch die Wärmeisolationsschicht im Raum 3 der S-Speicher gegen die Außenseiten wärmeisoliert (Siehe Fig. 1). Zudem lässt sich Wassereis eventuell auch in C-Speichern aufbewahren, denn das Wasser dort, falls existiert, ist durch Schritt 2 im Raum 2 ebenfalls kalt geworden und kann weiter durch winterliche Kälte erstarrt werden, wobei eventuell eine zusätzliche Wassermenge einzulassen ist.

Schritt 7 für CO₂-Heizen in Warmzeiten: In der Warmzeit wie Sommer wird die durch Schritt 5 gespeicherte CO₂-Flüssigkeit aus dem Raum 1 ausgeleitet und durch die o.g. verschiedenen Arten der Wärme geheizt und zu den Wärmekraftmaschinen des CO₂-Kraftwerks geführt. Schließlich ist der Raum 1 leer geworden.

Schritt 8 für die Wassereis-Verwendung in Warmzeiten: Das in Schritt 6 gespeicherte Wassereis wird über Wärmetauscher zur Kondensation der CO₂-Gase aus den Wärmekraftmaschinen beispielsweise in der Warmzeit wie Sommer komplett verwendet. Dadurch ist das geschmolzene Wasser im Raum 2 und eventuell in C-Speichern zur Wärmeaufnahme z.B. bis über 90 °C wieder bereit, eventuell können der Raum 2 und die C-Speicher mit frischem Warmwasser wieder voll befüllt werden. Der in Schritt 7 entleerte Raum 1 kann z.B. in Sommerzeiten erneut zur Wärmespeicherung benutzt werden. Somit kann der Schritt 1 erneut beginnen. Hierbei sieht man, dass ein S-Speicher sowohl als Wärmespeicher mit Wasser als Arbeitsmedium von Sommerzeiten bis zu Winterzeiten wie auch als Eisspeicher mit CO₂-Flüssigkeit und Wasser als Arbeitsmedien von Winterzeiten bis zu Sommerzeiten fungieren kann. Im Folgenden werden seine Konstruktionsprinzipien beschrieben.

Erklärung zur Figur 1 für S-Speicher

[0004] S-Speicher können verschiedene Gestalten besitzen, eine davon ist die der Kreiszyylinder, welcher hier zur Erläuterung der Konstruktionsprinzipien für alle anderen Gestalten angenommen wird. Es gibt hier drei Kreiszyylinder unterschiedlicher Größen, die ineinander in bestimmten Abständen gebaut werden. Die drei Kreiszyylinder haben jeweils eine Decke und einen Boden oder eine gemeinsame Decke und/oder einen gemeinsamen Boden. Im Folgenden beschreibt man nur den Fall für die jeweiligen Decken und Böden, für die anderen Fälle sind sie analog zu beschreiben.

[0005] Der innerste Kreiszyлиндerraum dient zur Speicherung der CO₂-Flüssigkeit bzw. des Warmwassers in unterschiedlichen Zeiträumen, so z.B. in Winterzeiten zur Speicherung von CO₂-Flüssigkeit bis zu Sommerzeiten bzw. in Sommerzeiten zur Speicherung von Warmwasser bis zu Winterzeiten. Der innerste Kreiszyylinder wird als Zylinder 1 und der Raum innerhalb des Zylinders 1 als Raum 1 bezeichnet, in welchem Wärmetauscher unter Umständen installiert werden könnten. Der Zylinder 1 kann aus Stahlbeton mit oder ohne Edelstahlauskleidung bestehen.

[0006] Der nächstgrößere Zylinder wird Zylinder 2 genannt. Der zwischen den Zylindern 1 und 2 liegende Raum lässt sich zur Speicherung von Warmwasser bzw. Wassereis in unterschiedlichen Zeiten verwenden, so z.B. in Sommerzeiten für die Speicherung von Warmwasser bis zu Winterzeiten bzw. in Winterzeiten für die

Speicherung von Wassereis bis zu Sommerzeiten. Dieser Raum wird Raum **2** genannt, in dem Wärmetauscher installiert werden können.

[0007] Der zwischen Zylinder **2** und dem nächstgrößeren und als Zylinder **3** bezeichneten Kreiszyylinder liegende Raum dient zur Wärmeisolierung gegen die Außenseiten und wird Raum **3** genannt. Er wird möglicherweise mit Wärmedämmstoffen gefüllt. Dessen Abstand nach Außen und die möglichen Wärmedämmstoffe darin sind so zu bestimmen, dass die Anforderung an den gewünschten Wärmeleitwiderstand ([12] und [13]) erfüllt wird. Dabei kann man sich an den Konstruktionsdaten der saisonalen Wärmespeicher orientieren. Außerdem besitzen die drei Räume **1**, **2** und **3** jeweils mindestens eine Ein- und Ausfuhrverbindungen zum Außen des S-Speichers, die übersichtshalber nicht in der Figur gezeichnet sind. Ebenso nicht in der Figur gezeichnet sind die Stützen zwischen den Zylindern und andere Bestandskomponenten in den drei Räumen wie z.B. Wärmetauscher.

[0008] Die Arbeitsvorgänge eines S-Speichers sehen wie folgt aus: Zuerst ohne Einschränkung der Allgemeinheit sei der S-Speicher leer und der Betriebsbeginn sei am Anfang eines Sommers.

Vorgang **1**: Mit Warmwasser von etwa 95 °C werden die Räume **1** und **2** vollgefüllt und dann zugemacht und gegen Kälte isoliert.

Vorgang **2**: In der Kaltzeit wie Winter lässt man das gespeicherte Warmwasser aus dem Raum **1** zum CO₂-Heizen ganz ausfließen. Die Wärme vom Warmwasser im Raum **2** kann zum CO₂-Heizen außerdem über Wärmetauscher im Raum **2** genutzt werden.

Vorgang **3**: In der Kaltzeit wie Winter wird CO₂-Fluid aus den Wärmekraftmaschinen oder aus den C-Speichern (Siehe später die Erklärung für C-Speicher) mit winterlicher Kälte verflüssigt. Das verflüssigte Kohlendioxid wird in den durch Vorgang **2** leer gewordenen Raum **1** geleitet und abgefüllt. Außerdem ist flüssiges Kaltwasser in den durch Vorgang **2** möglicherweise leer gewordenen Raum **2** zu leiten und lässt sich dort sukzessiv frieren, oder dort eventuell befindliches Wasser ist über die dort installierten Wärmetauscher durch winterliche Luftkälte allmählich zu erstarren, oder er kann auch direkt mit Wassereis befüllt werden. Somit ist der Raum **2** mit Wassereis vollgefüllt.

Vorgang **4**: Nach der Füllung des Raums **1** bzw. **2** mit CO₂-Flüssigkeit bzw. Wassereis wird der S-Speicher zugemacht. Dann sind die CO₂-Flüssigkeit und das Wassereis aufgrund der Wärmeisolierschicht im Raum **3** gegen die Außenseiten wärmeisoliert und sie haben jetzt eine Temperatur von unter/gleich minus 30 °C. Vorgang **5**: In der Warmzeit wie Sommer lässt man die CO₂-Flüssigkeit im Raum **1** zu ihrem Heizen ganz ausfließen, und das im Raum **2** befindliche Wassereis wird zur Kondensation der aus Wärmekraftmaschinen ausströmenden CO₂-Gase verwendet. Dadurch wird der Raum **1** wieder leer und kehrt zum Initialzustand zurück. Der Raum **2** ist eventuell durch Ausfließen des geschmolzenen Wassers leer geworden oder das dort verbliebene geschmolzene Wasser ist über den dort installierten Wärmetauscher wieder wärmeaufnahme-fähig geworden. Damit beginnt erneut Vorgang **1**.

Erklärung für C-Speicher

[0009] Der C-Speicher ist eine Variante eines S-Speichers, nämlich wenn der Durchmesser des Zylinders **1** des S-Speichers gleich null angesetzt wird und eventuell nur der Zylinder **2** und der Raum **2** mit der Decke und dem Boden bestehen.

[0010] Der C-Speicher dient der Speicherung von CO₂-Gas oder Wasser und kann unter Umständen wärmeisoliert gegen die Außenseiten sein. An dem Baustandort wie z.B. einem Wüstengebiet sollte er keine Wärmeisolierung aufweisen. Falls er aber wärmeisoliert gegen die Außenseiten ist, kann er zum Speichern von Warmwasser, Wassereis oder CO₂-Flüssigkeit benutzt werden. Seine Arbeitsvorgänge sehen wie folgt aus: Zuerst ohne Einschränkung der Allgemeinheit sei der C-Speicher zu einem Sommerbeginn leer.

Vorgang **1**: In der Warmzeit wie Sommer wird der C-Speicher mit CO₂-Fluid aus den Wärmekraftmaschinen mit einem bestimmten Gasdruck z.B. 6 bar vollgefüllt und zugemacht. Mit dem Sinken der Lufttemperatur im Zeitablauf von Sommerzeiten nach Winterzeiten sollte er aber automatisch nachgefüllt werden, falls der Druck darin sinkt.

Vorgang **2**: In der Kaltzeit wie Winter wird CO₂-Fluid aus dem C-Speicher zur Verflüssigung ausgeleitet, indem z.B. der Entspannungsdruck mancher Wärmekraftmaschinen auf einer Druckhöhe von über 16 bar angesetzt wird und die entsprechenden CO₂-Fluidströme aus ihnen durch eine Venturi-Düse durchfließen, wo der CO₂-Druck sinkt und das CO₂-Fluid aus dem C-Speicher möglicherweise in die Düse über eine

Rohrleitung angesaugt wird, in welcher ein Ventilator installiert werden kann, um CO₂-Gas beschleunigt aus dem C-Speicher zur Düse oder zu einem CO₂-Kondensator auszuschicken.

Vorgang 3: Falls der C-Speicher eine Wärmeisolationsschicht hat, kann er zum Speichern von Wassereis in Winterzeiten benutzt werden.

Vorgang 4: Das eventuell gespeicherte Wassereis im Vorgang 3 wird in Sommerzeiten zur CO₂-Verftüssigung verwendet. Das dadurch geschmolzene Wasser kann man aus dem C-Speicher ausfließen lassen, damit wird er wieder bereit zum Speichern von CO₂-Gas.

[0011] Falls ein C-Speicher eine Wärmeisolationsschicht hat, kann er auch zum Speichern von Warmwasser in Sommerzeiten benutzt werden, hierzu siehe die oben beschriebenen Vorgänge in Raum **2** der S-Speicher. Falls er geeignet wärmeisoliert gegen die Außenseiten für die Speicherung der CO₂-Flüssigkeiten ist, so lässt er sich auch zur Speicherung der CO₂-Flüssigkeiten in Kaltzeiten wie Winter verwenden, hierzu siehe die oben beschriebenen Vorgänge in Raum **1** der S-Speicher.

[0012] Alle oben genannten C- oder S-Speicher können in einer stehenden und/oder liegenden Weise gebaut werden und sollen mit geeigneten Messgeräten und Sicherheitsventilen ausgestattet werden. Die Messdaten werden an das Zentralsteuerungssystem des CO₂-Kraftwerks übertragen. An den geeigneten Stellen der verschiedenen Rohrleitungen zwischen unterschiedlichen Bauteilen des CO₂-Kraftwerks werden die passenden Ventile installiert, so z.B. die Sicherheitsventile, Rückschlagventile, Absperrventile, Reduzierventile, Wechsel- und Zweidruckventile und andere Arten der Ventile [8]. Übersichtshalber sind sie aber in allen Figuren der vorliegenden Beschreibung nicht gezeichnet. Für alle S- bzw. C-Speicher könnte jeweils mindestens eine Gruppe gebildet werden. Jede Gruppe davon kann ein oder zwei Sammelleitungen haben, durch welche das Kohlendioxid oder Wasser zum bzw. vom jeweiligen Zielobjekt bzw. Quellobjekt ein- bzw. ausgeführt wird. Dabei kann ein Zielobjekt bzw. Quellobjekt z.B. ein Betriebsbehälter, eine Wärmekraftmaschine, ein Speicher, ein Wärmetauscher oder irgendein Bauteil im CO₂-Kraftwerk sein. Alle in Behältern oder Speichern möglicherweise installierten Wärmetauscher sind sinngemäß vorhanden und mit bestimmten Wärmeübertragungsleistungen vorgesehen. Sie sind übersichtshalber ebenfalls nicht gezeichnet.

Erklärung zur Figur 2 für CO₂-Kraftwerk

[0013] Die Naturwärme und -kälte von minus 30 °C bis plus 30 °C ist in CO₂-Kraftwerken zur Energieumwandlung ausgiebig auszunutzen. Die Naturwärme dient beispielsweise zum CO₂-Heizen von minus 30 °C bis plus 30 °C und die Naturkälte von 20 °C bis minus 30 °C lässt sich zur CO₂-Verftüssigung verwenden. Dabei spielen die Wärme- und Kältespeicher mit Wasser als Arbeitsmedium eine wichtige Rolle für den Transfer von Wärme und Kälte zwischen den unterschiedlichen Jahreszeiten. Die Heiz- und Kühlvorgänge des Kohlendioxids können aufgrund der Speichermöglichkeit des CO₂-Kraftwerks stufenweise und zeitlich versetzt bis zu den gewünschten Betriebstemperaturen in den Betriebsbehältern oder CO₂-Speichern stattfinden.

[0014] Zur Erklärung der **Fig. 2** möge der Betrieb eines CO₂-Kraftwerks in einem Sommerbeginn starten, alle S-Speicher seien durch CO₂-Flüssigkeit bzw. Wassereis mit der Temperatur von minus 30 °C vollgefüllt, alle C-Speicher seien durch Wassereis voll befüllt oder leer. Für die einzelnen Wärmekraftmaschinen in der Wärmekraftmaschinenengruppe seien die geeigneten Betriebstemperaturen und - drücke ausgelegt. Das Arbeitsverfahren dazu sieht dann folgendermaßen aus: Vorgang 1: CO₂-Flüssigkeit wird aus Raum **1** eines S-Speichers ausgeleitet, und fließt eventuell zu einem Verdampfungsbehälter mit einer Verdampfungstemperatur von minus 4 °C als Beispiel. Die durch Verdampfung erzeugte Kälte kann zur CO₂-Gaskondensation in einem Kondensationsbehälter ausgenutzt werden, welcher direkt mit dem Verdampfungsbehälter durch einen Wärmetauscher verbunden ist. Der Verdampfungsbehälter und der Kondensationsbehälter können auch eine und dieselbe Einrichtung sein. Die Verdampfungskälte kann jedoch in der Regel nur einen Teil der CO₂-Gaskondensationswärme kompensieren. Die hier in der **Fig. 2** dargestellte Kombination des Verdampfungsbehälters mit dem Kondensationsbehälter ist nur ein Exemplar, es kann mehrere solcher Kombinationen in einem CO₂-Kraftwerk geben.

[0015] Vorgang 2: Das CO₂-Verdampfungsfluid wird aus dem Verdampfungsbehälter ausgeleitet und zu einem Betriebsbehälter der in der **Fig. 2** summarisch dargestellten Behältergruppe geführt.

[0016] Vorgang 3: Ein weiterer Teil von CO₂-Flüssigkeit kann ebenfalls aus einem S-Speicher ausgeleitet und in einen Betriebsbehälter der Gruppe eingeleitet werden, welcher eventuell der im Vorgang 2 genannte Betriebsbehälter ist. Beim eventuellen Mischen des im Vorgang 2 genannten CO₂-Verdampfungsfluids mit der eingeleiteten CO₂-Flüssigkeit im Betriebsbehälter ist dort die dem jeweiligen Betriebsdruck und - temperatur

entsprechende CO₂-Dichte zu beachten. Dabei kann auch das gerade aus dem Kondensationsbehälter verflüssigte Kohlendioxid in den Betriebsbehälter eingeleitet werden. Nachdem die entsprechende CO₂-Dichte in dem Betriebsbehälter erreicht wurde, wird er zugemacht und die dabei eventuell entstandene Expansionskälte wird zur weiteren Nutzung abgeführt. Somit wird das CO₂-Heizen fortgesetzt, bis die gewünschten Betriebszustandsgrößen des CO₂-Fluids erreicht werden. Der geheizte CO₂-Fluidstrom wird anschließend zu einer Eingangs-Wärmekraftmaschine der Wärmekraftmaschinengruppe weiterfließen und dort entspannen. Die CO₂-Flüssigkeit aus S-Speichern oder das gerade aus dem Kondensationsbehälter verflüssigte Kohlendioxid muss nicht über den Verdampfungsbehälter, sondern kann auch direkt zu einem Betriebsbehälter zum CO₂-Heizen geleitet werden.

[0017] Vorgang 4: Es kann mehrere Eingangs-Wärmekraftmaschinen in der Wärmekraftmaschinengruppe geben, die parallel in der Wärmekraftmaschinengruppe angeordnet sind, damit der CO₂-Durchsatz durch die Gruppe vergrößert werden kann. Insbesondere kann eine Eingangs-Wärmekraftmaschine eine Kolbenkraftmaschine ([9]) sein, welche die folgenden Vorteile aufweist: Kälteerzeugung, Nutzung der hohen CO₂-Betriebsdruck und flexible Dichteverhältnisse zwischen den Betriebs- und Entspannungsdrücken der CO₂-Fluidströme. Nach einer Eingangs-Wärmekraftmaschine kann eine weitere Wärmekraftmaschine in serieller Weise angeschlossen werden und zwischen den seriell angeschlossenen Wärmekraftmaschinen kann ein Wärmetauscher oder ein Heizkessel installiert werden, um den CO₂-Fluidstrom hinter der vorderen Wärmekraftmaschine erneut zu heizen. Durch den seriellen Anschluss lässt sich die Enthalpie-Differenz der Wärmekraftmaschinengruppe durch die Zwischenerwärmung vergrößern. Man sieht hierbei, dass durch die parallelen und seriellen Anschlussweisen von Wärmekraftmaschinen innerhalb der Wärmekraftmaschinengruppe eine flexible Skalierung der Leistungen des Kraftwerks sowie eine dynamische Leistungssteuerung ermöglicht werden können. Nach der CO₂-Entspannung in den Wärmekraftmaschinen der in der **Fig. 2** summarisch dargestellten Wärmekraftmaschinengruppe werden die entspannten CO₂-Fluide zu C-Speichern für ihre Speicherung oder zu einem Kondensationsbehälter für ihre Verflüssigung oder über eine Venturi-Düse ([4]) zu einem Kondensator geleitet. In der **Fig. 2** ist nur eine Kombination einer Venturi-Düse mit einem angeschlossenen Kondensator gezeichnet. Es kann aber mehrere solcher Kombinationen oder Kondensatoren geben, welche die entspannten CO₂-Fluide aus den Wärmekraftmaschinen ohne zwischengeschaltete Venturi-Düsen direkt empfangen und welche in der **Fig. 2** übersichtshalber nicht gezeichnet sind.

[0018] Vorgang 5: In der Kaltzeit wie Winter lässt sich das in C-Speichern aufbewahrte CO₂-Gas über eine Rohrleitung zur in der **Fig. 2** dargestellten Venturi-Düse **4** ansaugen, durch welche zum Teil das aus den Wärmekraftmaschinen ausströmenden CO₂-Fluid durchfließt. Ggfs. wird in der Rohrleitung ein Ventilator installiert, um das CO₂-Gas beschleunigt zur Venturi-Düse und dann zum CO₂-Kondensator oder direkt zu einem Kondensator zu leiten. Dann kann es mit dem aus Wärmekraftmaschinen ausfließenden CO₂-Fluid zusammen im Kondensator unter minus 30°C mit entsprechender Druckhöhe beispielsweise 16 bar verflüssigt werden.

[0019] Vorgang 6: Die aus den Wärmekraftmaschinen ausströmenden CO₂-Fluide können auch in einen Kondensationsbehälter fließen und durch die Verdampfungskälte über den Wärmetauscher abgekühlt werden. Der Kondensationsbehälter kann auch mit weiteren Wärmeaustauschern installiert werden, welche mit den weiteren Kältequellen verbunden sind. In Sommerzeiten kann die Kältequelle z.B. Kaltwasser, die in Kolbenkraftmaschinen erzeugte Kälte oder das in Raum **2** der S-Speicher und eventuell in C-Speichern aufbewahrte Wassereis sein. Dabei kann die Kondensationstemperatur beispielsweise auf 4 °C ausgelegt werden und die CO₂-Gaskondensationswärme lässt sich zum Teil durch die Schmelzenthalpie vom Wassereis kompensieren. In Winterzeiten können die Kältequellen Kaltwasser oder Kaltluft sein. Für andere Jahreszeiten Herbst und Frühling kann man unter Umständen ähnlich verfahren.

[0020] Vorgang 7: In der Kaltzeit wie Winter kann die Wärme vom Warmwasser in den S-Speichern und eventuell auch in C-Speichern zum Heizen der CO₂-Fluide vor ihrem Eintritt in die Wärmekraftmaschinen verwendet werden. Dadurch ist der Raum **1** der S-Speicher durch Ausfließen von Warmwasser leer geworden.

[0021] Vorgang 8: Die in Winterzeiten verflüssigten Kohlendioxide können wieder in Raum **1** der S-Speicher geleitet und dort aufbewahrt werden. Die wärmeisolierten C-Speicher und der Raum **2** der S-Speicher lassen sich erneut mit Wassereis in Winterzeiten durch unterschiedliche Methoden füllen, zum Beispiel Erstarrung von Wasser darin, oder Transport von Eis dorthin. Damit kommt es dann zum Initialzustand der S- und C-Speicher und der Vorgang 1 beginnt erneut.

Implementierungsbeispiel für CO₂-Kraftwerk

[0022] Oben ist das Arbeitsverfahren beschrieben, jetzt wird ein CO₂-Kraftwerk mit konkreten Prozessdaten dargestellt. Da der DSK-Prozess im Niedertemperatur-Bereich stattfindet, sind alle Standardtechniken normalerweise bei Bedarf einsetzbar. Der Niedertemperatur-Bereich ist hier mit dem Bereich von minus 60 °C bis 150 °C gemeint. Die natürliche Wärme und Kälte in diesem Temperaturbereich lässt sich über die DSK-Eigenschaften Speichermöglichkeit und Diskretheit zur Energieumwandlung ausnutzen. Die obere Temperaturgrenze von 150 °C kann durchaus auch erhöht werden, wenn z.B. ein Stoff mit einer höheren Festigkeit und zugleich die Wirtschaftlichkeit seines Einsatzes vorliegt. Derzeit können die gängigen großen Turbinen eine Temperatur gegen 500 °C mit circa 400 bar aushalten. Daraus folgt, dass die entsprechenden Mess- und Steuerungsgeräte auch für CO₂-Kraftwerke verfügbar sind. Mit den günstigen Solarthermenanlagen oder mit Einsatz von CO₂-neutralen Brennstoffen lässt sich die CO₂-Temperatur von 150 °C leicht erreichen. Welche Temperaturhöhe als Betriebstemperatur angesetzt wird, hängt sowohl von der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Solarwärme oder von der Verbrennungswärme der CO₂-neutralen Brennstoffe als auch von der Rentabilität der Anwendung von bekannten Stoffen zur Herstellung der neuen Maschinen und Geräte ab.

[0023] Im vorliegenden Implementierungsbeispiel für ein CO₂-Kraftwerk sei ohne Einschränkung der Allgemeinheit seine Elektrizitätsleistung für 350 kW angenommen und \bar{a}

a. Das CO₂-Kraftwerk hat eine Wärmekraftmaschinen-Gruppe, die aus zwei Wärmekraftmaschinen besteht, die erste ist eine Kolbenkraftmaschine als Eingangs-Wärmekraftmaschine, die zweite ist eine Turbine, die seriell mit der Kolbenkraftmaschine verbunden ist.

b. Die Betriebstemperatur bzw. -druck sei 90 °C bzw. 1000 bar für die Kolbenkraftmaschine, ihre Entspannungstemperatur bzw. -druck ist minus 4 °C bzw. 31,303 bar. Daraus folgt, dass das entspannte CO₂-Fluid eine spezifische Dichte von 268,324 Kilogramm pro Kubikmeter hat und die Enthalpie-Differenz einen Wert von 109,435 kJ/kg aufweist. An der Kolbenkraftmaschine wird direkt ein Wärmetauscher angeschlossen, um das entspannte CO₂-Fluid daraus wieder bis zu 90 °C zu heizen. Aus der o.g. Dichte und der Temperatur 90 °C folgt, dass das CO₂-Fluid eine Druckhöhe von 118,126 bar hat. Dann wird es zur Turbine geleitet, in der es sich entspannt. Dabei sei die Entspannungstemperatur bzw. -druck 4 °C bzw. 38,688 bar. Die Enthalpie-Differenz dazu beträgt dann 42,863 kJ/kg. Da die Kolbenkraftmaschine und die Turbine in der seriellen Weise verbunden sind, beträgt die gesamte Enthalpie-Differenz 152,298 kJ/kg für die Wärmekraftmaschinen-Gruppe. Mit der angesetzten elektrischen Leistungshöhe von 350 kW und einem angesetzten durchschnittlichen 70%-Wirkungsgrad der beiden Kraftmaschinen wird für den CO₂-Fluidstrom ein Durchsatz von 3,283 Kilogramm pro Sekunde abgeleitet.

c. Der Betriebsstart sei in einem Sommerbeginn.

d. Alle S-Speicher seien mit CO₂-Flüssigkeit bzw. mit Wassereis im Raum **1** bzw. **2** gefüllt, und sie haben eine Temperaturhöhe von minus 30 °C.

e. Alle C-Speicher seien mit Wassereis der Temperatur von minus 30 °C gefüllt, falls sie wärmeisoliert sind. Ansonsten seien sie leer.

f. Wasser sei vor Ort verfügbar.

g. Die ausreichenden Wärmeübertragungsleistungen seien in jeweiligen Behältern bzw. Speichern installiert, z.B. in den Betriebsbehältern bzw. in S-Speichern.

h. Der Standort des CO₂-Kraftwerks sei die Stadt Harbin in China. Dort kann die Lufttemperatur in Winter- bzw. Sommerzeit minus 30 °C bzw. plus 30 °C erreichen und außerdem gibt es in einem Jahr circa die Hälfte davon, in welcher die niedrigste Lufttemperatur eines jeden Tages unter/gleich 0 °C liegt.

[0024] Aus den o.g. Annahmen folgen dann die Größen für S- und C-Speicher des CO₂-Kraftwerks, wobei die Ausnutzung der im CO₂-Kraftwerk erzeugten Kälte zur CO₂-Verflüssigung noch nicht berücksichtigt ist.

1) Aus dem bekannten CO₂-Durchsatz 3,283 kg pro Sekunde und der Sommerzeit von Juni, Juli und August folgt eine gesamte durchgeflossene CO₂-Masse 26.096.262 kg, davon sind 25.892.194 kg in Gas-Phase nach der Entspannung in der Turbine. Dann muss es ein Speichervolumen von 24.231 Kubikmeter geben, um diese Masse mit der Temperatur von minus 30 °C und der CO₂-Dichte 1077 kg pro Kubikmeter in Raum **1** der S-Speicher aufzubewahren.

2) Zur Verflüssigung der CO₂-Gasmasse 25.892.194 kg bei 0 °C braucht man in Sommerzeiten die Kondensationskälte von 5.515.963.102 Kilojoule. Dann beträgt die durchschnittliche Kälteleistung 712 kW in den o.g. drei Monaten. Die verfügbare Kälte liegt hier meist im gespeicherten Wassereis, welches eine

Schmelzenthalpie 333,5 kJ/kg gegenüber der CO₂-Kondensationsenthalpie 218,3 kJ/kg bei 0 °C hat. Die andere Kältequelle ist z.B. der entspannte CO₂-Gasstrom von minus 4 °C aus der Kolbenkraftmaschine, sie ist hier aber zur Berechnung des Speichervolumens für Wassereis noch nicht berücksichtigt. Man benötigt daher circa ein Volumen von 15.287 Kubikmetern von Wassereis mit der Temperatur von minus 30 °C in den S- und/oder C-Speichern.

3) In Kaltzeiten von sechs Monaten in einem Jahr benötigt man zum CO₂-Heizen vom Zustand 5 °C und 1077 Kilogramm pro Kubikmeter bis zum Zustand 90 °C und 1000 bar die Wärmeenergiemenge von 8.015.456.432 kJ. Daher soll es circa das Volumen 22.723 Kubikmeter der S- und/oder C-Speicher zum Speichern vom Warmwasser mit 90 °C geben. Dabei noch nicht berücksichtigt sind alle Arten anderer Wärme wie z.B. Solarwärme oder Verbrennungswärme aus den CO₂-neutralen Brennstoffen wie Pflanzenstroh und Abholz.

[0025] Oben sind jeweils die Volumina der S- und C-Speicher zum Speichern von CO₂, Wassereis und Warmwasser angegeben, um den DSK des CO₂-Kraftwerks ununterbrochen unter den angegebenen Voraussetzungen laufen zu lassen. Wenn die im CO₂-Kraftwerk erzeugte Kälte zur CO₂-Verflüssigung genutzt wird, kann noch ein guter Teil des Speichervolumens gespart werden.

[0026] Jetzt soll die Wirtschaftlichkeit des DSK-Implementierungsbeispiels unter den o.g. Bedingungen betrachtet werden. Die dafür nötigen Investitionskosten liegen hauptsächlich im Bau von CO₂- und Wasserspeichern mit den entsprechenden Equipments wie zum Beispiel Wärmetauschern. Anhand der Baukosten der saisonalen Wärmespeicher in Deutschland und der Preise für Stahlbeton und Edelstahlblech in China kann man die Baukosten für diese S- und C-Speichergrößen durchschnittlich mit 200 Yuan Renminbi pro Kubikmeter in China ansetzen. Somit betragen die Investitionskosten hier für circa 7,39 Mio. Yuan Renminbi.

[0027] Aus der oben angesetzten elektrischen Leistung 350 kW werden 3.066.000 kWh Elektrizität pro Jahr produziert. Der Umweltschutz-Strompreis beträgt derzeit circa 0,65 Yuan Renminbi in China. Der Erlös davon beträgt dann 1,99 Mio. Yuan Renminbi. Der gegenwärtige CO₂-Emissionspreis in EU an der Börse ist circa 25 Euro pro Tonne Kohlendioxid. In China ist ein ähnliches Handelssystem zur CO₂-Emission im Aufbau. Der Preis dazu wird auf 150 Yuan Renminbi pro Tonne abgeschätzt. Mit Einsatz von 26.096.262 kg Kohlendioxid im CO₂-Kraftwerk erhält man die Einnahme von 3,91 Mio. Yuan Renminbi. Daher erhält man im ersten Produktionsjahr des CO₂-Kraftwerks den gesamten Erlös von 5,90 Mio. Yuan Renminbi. In den weiteren Produktionsjahren erhält man dann nur den Stromerlös von 1,99 Mio. Yuan Renminbi pro Jahr. Dies ist profitabel gegenüber der Investition von 7,39 Mio. Yuan Renminbi.

[0028] Anmerkungen:

1) Die Wirtschaftlichkeit eines CO₂-Kraftwerks hängt von einigen Faktoren ab, wie z.B. Bauort des CO₂-Kraftwerks, lokale Wetterbedingungen, verfügbare Abwärme und Existenz von Wasser und Pflanzenstroh. Daher ist vor dessen Bau eine gute Planung anhand der lokalen Bedingungen durchzuführen, um die maximale Profitabilität zu erzielen.

2) CO₂-neutrale Brennstoffe: In Winterzeiten ist viel Naturkälte verfügbar, aber wenig Naturwärme. Daher kann die Verbrennungswärme der CO₂-neutralen Brennstoffe wie Pflanzenstroh, Abholz und Energiepflanzen die Wärmequelle zum CO₂-Heizen sein. Durch CO₂-Separation von deren Verbrennungsrauchgas und den Einsatz der daraus separierten Kohlendioxide in CO₂-Kraftwerken lässt sich der CO₂-Gehalt der Atmosphäre schnell reduzieren. Zum Beispiel, ein Hektar vom Winterweizenanbau kann ca. 10 Tonnen Stroh hervorbringen, bei deren Verbrennung ungefähr 25 Tonnen von CO₂ nach ihrer Separation entstehen, deren Einsatz in CO₂-Kraftwerken deren Entnahme aus der Atmosphäre gleichsetzt.

3) Kälteerzeugung: In Sommerzeiten ist viel Naturwärme verfügbar, aber wenig Naturkälte. Die Kolbenkraftmaschinen mit CO₂ als Arbeitsmedium können jedoch viel Kälte erzeugen, die zur CO₂-Verflüssigung ausgenutzt werden kann. Sie können aber zugleich auch große Volumina entspannter CO₂-Gase hervorbringen, die bis zur kommenden Winterzeit zu deren Verflüssigung aufbewahrt werden sollten, was großflächige Grundstücke zum Bau von C-Speichern mit sich bringen kann. Es wäre vorteilhaft, wenn ein Wüstengebiet oder ähnliches dazu vorliegen würde!

4) Die Verbindungen von Wärmekraftmaschinen wie etwa Kolbenkraftmaschinen und Turbinen mit CO₂ als Arbeitsmedium können in serieller und/oder paralleler Weise mit Zwischenerhitzung erfolgen. Die seriellen Verbindungen können die CO₂-Enthalpie-Differenz der Wärmekraftmaschinengruppe erhöhen, während die parallelen Verbindungen deren CO₂-Durchsatz möglicherweise steigern. Darüber hinaus können die CO₂-Ströme dazwischen mit Ventilen und Schaltern gesteuert werden, um deren Anpassungsfähig-

keit an konkrete und sich ändernde Verhältnisse der Jahreszeiten wie z.B. Lufttemperaturänderungen zu steigern. Das erfordert dann ein dementsprechendes Zentralsteuerungssystem für CO₂-Kraftwerke.

5) Mit der Speicherung der Kohlendioxide sowie der Naturwärme und -kälte in S- und C-Speichern lindert man das Problem des Bedarfs an Naturwärme und -kälte in unterschiedlichen Jahreszeiten für CO₂-Kraftwerke. Wenn aber viel Wärme in Winterzeiten wirtschaftlich und umweltfreundlich genutzt werden kann, lässt sich damit viel Elektrizität in Winterzeiten mit Kohlendioxid als Arbeitsmedium erzeugen, die zur Produktion gewisser Energieträger wie etwa Wasserstoff ausgenutzt werden kann. Umgekehrt wenn in Sommerzeiten viel Kälte zur CO₂-Kondensation verfügbar ist. Darüber hinaus kann man viele Vorteile der Kolbenkraftmaschinen zur Geltung bringen: Beispielsweise können sie mit hohem CO₂-Druck wie etwa über 1000 bar und mit großem CO₂-Dichteverhältnis vor und nach der CO₂-Entspannung wie etwa über 100 arbeiten sowie viel Kälte neben mechanischer Arbeit erzeugen.

6) Die vorhandenen Atom- oder Kohlekraftwerke können auf CO₂-Kraftwerke umgebaut werden, weil sich fast alle Bauteile davon weiterverwenden lassen. Insbesondere in deren Umgebung kann eine große Menge von Brachländern bestehen, welche sich zum Bau von CO₂-Speichern ausnutzen lassen; Wasserquellen sind dort fast immer vorhanden; die Hoch- bzw. -Tiefbaurechte sind dort genehmigt worden. Übrigens können die Müllverbrennungsanlagen dazu dienen, CO₂ aus deren Rauchgas zu trennen und in CO₂-Kraftwerke einzusetzen, somit wird der Umweltschutz für die umliegenden Gebiete noch mal verbessert.

7) Zu erwähnen sind dabei die möglichen Investitionskosten beispielsweise zum Bau einer Solarthermie-Anlage, oder eines Heizkessels zur Verbrennung von CO₂neutralen Brennstoffen und notfalls auch von fossilen Brennstoffen. Nach einer Marktpreisermittlung in den jeweiligen Ländern kann man dann die Investitionskosten dafür gut abschätzen, so z.B. den Durchschnittspreis pro MW einer Wärmekraftmaschine von Siemens, oder den pro kW eines Wärmetauschers von Buderus, oder den Durchschnittspreis pro Kubikmeter von CO₂-Speichern oder Betriebsbehältern in China.

8) Es lassen sich ggfs. Kältemaschinen einsetzen, die durch die sommerliche Hitze betrieben werden können, zum Beispiel Kältemaschinen mit Wasser-Ammoniak-Gemisch ([11]) als Arbeitsmedium. Der Einsatz solcher Maschinen hängt allein von der Wirtschaftlichkeit ihres Einsatzes ab, die wiederum von den lokalen Verhältnissen wie Wetterbedingungen abhängt.

9) Mit Anhebung der Betriebstemperatur von 90 °C auf 150 °C als Beispiel kann man eine höhere Flexibilität zur Skalierung des CO₂-Kraftwerks und seiner dynamischen Leistungsteuerung erhalten.

10) Die CO₂-Verdampfungskälte ist zur CO₂-Kondensation verwendbar, aber dadurch ist eventuell nur ein Anteil des entspannten CO₂-Gases aus den Wärmekraftmaschinen zu kondensieren, denn die CO₂-Verdampfung steht direkt im Konflikt zu der aus dem Betriebsdruck und -temperatur abgeleiteten Betriebsdichte des CO₂-Fluids. Je tiefer die Lufttemperatur zum Beispiel in Winter, desto höher der kondensierbare Anteil.

[0029] Mit den S-Speichern wird der Speicherdruck der CO₂-Flüssigkeiten erheblich gesenkt und stabil gehalten; Mit der kombinierten Wärme- und Kältespeicherung in S- oder C-Speichern per Wasser lässt sich eine große Energiemenge zwischen den unterschiedlichen Jahreszeiten transferieren; Mit dem Einsatz der Kolbenkraftmaschinen wird der hohe CO₂-Druck für gute Zwecke ausgenutzt und viel Kälte neben Elektrizität miterzeugt sowie die Einschränkung der CO₂-Dichteverhältnisse zwischen den Betriebs- und Entspannungsdichten des Kohlendioxids aufgelöst; Mit Nutzung der CO₂-Verdampfungskälte und der Venturi-Düsen lässt sich der Energieverbrauch für die CO₂-Gaskondensation weiter senken; Schließlich kann durch die Anwendung der Kältemaschinen in der Warmzeit wie Sommer die Einschränkung lokaler Wetterbedingungen gelockert werden. Zusammen mit dem Patent ([4]) DE 10 2017 003 238 A1 bildet die vorliegende Erfindung ein wirtschaftlich effizientes Lösungspaket für die Probleme Klimawandel und Energiemangel.

Bezugszeichenliste

- 1 Kreiszyylinder 1 und Raum 1: Zur Speicherung von CO₂-Flüssigkeit und Warmwasser in unterschiedlichen Jahreszeiten
- 2 Kreiszyylinder 2 und Raum 2: zur Speicherung von Wassereis und Warmwasser in verschiedenen Jahreszeiten
- 3 Kreiszyylinder 3 und Raum 3: für Wärmsolierschicht gegen die Außenseiten
- 4 Venturi-Düse

Druckschriften

Nummer	Druckschrift
1	DE 10 2006 035 273 A1
2	EP 2 703 610 A1
3	DE 10 2009 057 613 A1
4	DE 10 2017 003 238 A1
5	DE 38 71 538 T2
6	US 2012/0 090 352 A1
7	FISCHEDICK, Manfred; GÖRNER, Klaus; THOMECEK, Margit (Hrsg.): CO ₂ : Abtrennung, Speicherung, Nutzung - Ganzheitliche Bewertung im Bereich von Energiewirtschaft und Industrie. Berlin: Springer Vieweg, 2015. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. -ISBN 978-3-642-19527-3. DOI: 10.1007/978-3-642-19528-0
8	GROLIUS, Horst-W.: Grundlagen der Pneumatik. 3. aktual. Aufl. München: Hanser, 2012. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. -ISBN 978-3-446-43236-9
9	HAMMERSCHMIDT, Klaus Jörg: Der CO ₂ -Motor und seine Anwendung. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verl., 1992. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. -ISBN 3-7883-0632-7
10	HAUER, Andreas; HIEBLER, Stefan; REUß, Manfred: Wärmespeicher. 5., vollst. überarb. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB, 2013. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. -ISBN 978-3-816-78366-4
11	IKET GmbH (Hrsg): Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik - Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften. 19. neu bearb. und erw. Aufl. Heidelberg: C.F. Müller, 2008. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. -ISBN 978-3-7880-7824-9
12	LUCAS, Klaus: Thermodynamik - Die Grundgesetze der Energie- und Stoffumwandlungen. 6., bearb. Aufl.. Berlin: Springer, 2007. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-540-73515-1. DOI: 10.1007/978-3-540-73516-8. URL: https://rd.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-540-73516-8%2F1.pdf [abgerufen am 2017-08-14]
13	NITSCHKE, Manfred: Wärmetausch-Fibel I - für die Planung und Auslegung in der Praxis. Essen: Vulkan-Verlag, 2012. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-8027-2775-7
14	NITSCHKE, Manfred: Wärmetausch-Fibel II - für die tägliche Praxis. Essen: Vulkan-Verlag, 2013. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-8027-2776-4. URL: https://www.gbv.de/dms/tib-ub-hannover/728537702.pdf [abgerufen am 2020-02-26]
15	STERNER, Michael; STADLER, Ingo (Hrsg.): Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration. 2. korr. u. ergänzte Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2017. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-662-48892-8. DOI: 10.1007/978-3-662-48893-5. URL: https://flink.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-662-48893-5%2F1.pdf [abgerufen am 2020-02-24]
16	TILLNER-ROTH, Reiner: Fundamental equations of state. Aachen: Shaker, 1998. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 3-8265-4398-X
17	Verein Deutscher Ingenieure - VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) (Hrsg.): VDI-Wärmeatlas, 11. bearb. u. erw. Aufl., Berlin: Springer Vieweg, 2013. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-3-642-19980-6. DOI: 10.1007/978-3-642-19981-3. URL: https://rd.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-642-19981-3%2F1.pdf [abgerufen am 2017-08-14]

Patentansprüche

1. Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren auf einem Anlagensystem ausgeführt wird, welches die folgenden drei Anlagen enthält:
- 1.1 S-Speicheranlage, die aus mehreren S-Speichern mit folgenden Merkmalen besteht:
- 1.1.1 Drei Behälter unterschiedlicher Größe, die ineinander mit bestimmten Abständen gebaut werden. Sie haben Zylindergestalt, und

1.1.2 der innerste Zylinder wird Zylinder 1 genannt, der Raum innerhalb des Zylinders 1 wird als Raum 1 bezeichnet. Der nächstgrößere Zylinder wird Zylinder 2 genannt, der Raum zwischen Zylindern 1 und 2 wird als Raum 2 bezeichnet. Der nächstgrößere und äußerste Zylinder wird Zylinder 3 genannt, der Raum zwischen Zylindern 2 und 3 wird als Raum 3 bezeichnet, und

1.1.3 die drei Zylinderbehälter können jeweils eine eigene Decke und einen eigenen Boden aufweisen, oder eine gemeinsame Decke und/oder einen gemeinsamen Boden besitzen. Im Fall der Gemeinsamkeit ist die Decke oder der Boden wärmeisoliert gegen die Außenseiten, und

1.1.4 der Raum 1 dient zum Speichern der CO₂-Flüssigkeit von der Kaltzeit wie Winter bis zur Warmzeit wie Sommer und zum Speichern von Warmwasser von der Warmzeit wie Sommer bis zur Kaltzeit wie Winter, und

1.1.5 der Raum 2 dient zum Speichern von Wassereis von der Kaltzeit wie Winter bis zur Warmzeit wie Sommer und zum Speichern von Warmwasser von der Warmzeit wie Sommer bis zur Kaltzeit wie Winter, und

1.1.6 der Raum 3 dient zur Wärmeisolierung gegen die Außenseiten, er ist mit Wärmedämmstoffen gefüllt, und

1.1.7 der Zylinder 1 bzw. 2 bzw. 3 kann aus Stahlbeton mit oder ohne Edelstahlauskleidung bestehen, und

1.1.8 der Raum 1 bzw. 2 bzw. 3 hat mindestens einen Eintritt von außen und einen Austritt nach Außen oder einen Kanal, der schaltbar in den beiden Richtungen mit dem Außen verbunden ist, und

1.1.9 im Raum 1 bzw. 2 sind Wärmetauscher installiert, um mit dem Außen die Wärme- oder Kälteübertragung auszuführen, und

1.1.10 in den drei Räumen 1, 2 und 3 bestehen jeweils die Mess- und Sicherheitseinrichtungen wie z.B. Feuchtigkeitssensoren im Raum 3, Manometer, Thermometer und Sicherheitsventile in den Räumen 1 und 2;

1.2 C-Speicheranlage, die aus mehreren C-Speichern mit folgenden Merkmalen besteht:

1.2.1 C-Speicher ist eine Variante eines S-Speichers, nämlich wenn der Durchmesser des Zylinders 1 des S-Speichers gleich null ist und der Zylinder 2 und der Raum 2 mit der Decke und dem Boden bestehen. Er dient zum Speichern von Wasser und CO₂-Gas, und

1.2.2 wenn ein C-Speicher keinen Raum 3 und keinen Zylinder 3 mit der zugehörigen Decke und dem zugehörigen Boden hat, so wird er zum Speichern vom CO₂-Gas verwendet. Dies kann der Fall sein, wenn z.B. ein Wüstengebiet zum Bau der CO₂-Speicher nämlich C- oder S-Speicher vorliegt;

1.3 Eine CO₂-Kraftwerkanlage mit folgenden Merkmalen:

1.3.1 Eine Gruppe der mit elektrischen Generatoren vorgesehenen Wärmekraftmaschinen, die z.B. Kolbenkraftmaschinen oder Turbinen sein können und miteinander in serieller oder paralleler Weise zu verbinden sind und zwischen denen sich Zwischenerhitzungsgeräte wie z.B. Wärmetauscher oder Heizkessel zum CO₂-Heizen einschließen lassen, und

1.3.2 eine Gruppe von Behältern, die zum Heizen der CO₂-Fluide für ihre Entspannung in den Wärmekraftmaschinen und/oder zum Mischen von verschiedenen CO₂-Strömen und/oder zur CO₂-Zwischenspeicherung dienen, in denen die Wärmetauscher installiert werden, welche wiederum mit unterschiedlichen Wärmequellen schaltbar verbunden sind, und

1.3.3 mindestens ein CO₂-Verdampfer, in dem die CO₂-Flüssigkeit von einem S-Speicher aufgenommen wird und sie verdampft, so dass diese Verdampfungskälte über Wärmetauscher zur CO₂-Gaskondensation ausgenutzt wird, und

1.3.4 ein oder mehrere CO₂-Kondensatoren, zu denen ein Teil der entspannten CO₂-Fluide aus den Wärmekraftmaschinen geleitet wird, um es dort mit der Kälte aus dem gespeicherten Wassereis in der Warmzeit wie Sommer oder aus der Kaltluft in der Kaltzeit wie Winter zu kondensieren. Die so verflüssigten Kohlendioxide werden zu einem Behälter der Behältergruppe oder zu Raum 1 der S-Speicher geleitet, und

1.3.5 eine oder mehrere Venturi-Düsen (4), durch die ein Teil der entspannten CO₂-Fluide aus den Wärmekraftmaschinen so durchfließt, dass das in einem C-Speicher aufbewahrte CO₂-Gas über eine Rohrleitung in Winterzeiten angesaugt wird, wo es durch winterliche Kälte verflüssigt und dann in Raum 1 der S-Speicher aufbewahrt wird, und

1.3.6 eine Gruppe von CO₂-Kondensatoren und Behältern, die zur Verflüssigung der CO₂-Gase dienen. Die dazu notwendigen Kältequellen in der Warmzeit wie Sommer sind neben der o.g. gespeicherten Wassereiskälte z.B. die CO₂-Verdampfungskälte, die CO₂-Entspannungskälte, die in den Kolbenkraftmaschinen oder Kältemaschinen erzeugte Kälte, die Flusswasserkälte oder andere Naturkälte, und

1.3.7 eine optionale Gruppe von Heizkesseln zur Verbrennung der CO₂-neutralen Brennstoffe wie Pflanzenstroh und Abholz z.B. in Winterzeiten, um CO₂-Fluide vor dem Eintritt in die Wärmekraftmaschinen durch ihre Verbrennungswärme zu heizen, und

1.3.8 Rohrleitungen, welche die unterschiedlichen Bauteile des CO₂-Kraftwerks wie z.B.

Behälter, Speicher, Wärmetauscher und Wärmekraftmaschinen verbinden und mit geeigneten Ventilen und Messgeräten ausgestattet werden, z.B. Durchflussmesser, Manometer, Thermometer, Sperrventile, Rückschlagventile und Reduzierventile, und

1.3.9 ein Zentralkontrollsystem, unter dessen Kontrolle die Ventile, Wärmetauscher, Mess- und Steuerungsgeräte und andere kontrollierbaren Einrichtungen stehen, um flexible Anpassungen von CO₂-Speicherung in S- oder C-Speichern, der Leistungshöhe der Wärmekraftmaschinengruppe und/oder anderen Eigenschaften

der Bestandskomponenten des CO₂-Kraftwerks an die änderbaren Bedingungen wie z.B. laufende Wetterbedingungen und elektrische Leistungsanspruchsänderungen zu ermöglichen;

Wobei gilt,

1.4 dass zum CO₂-Heizen neben der Abwärme und/oder Geothermie, Solarwärme oder anderer Naturwärme auch die in S-Speichern und eventuell in C-Speichern aufbewahrte Warmwasserwärme und eventuell die Wärme aus Verbrennung der CO₂-neutralen Brennstoffe wie Pflanzenstroh und Abholz beispielsweise in der Kaltzeit wie Winter genutzt werden, und

1.5 dass zum CO₂-Kühlen neben der Naturkälte aus Flusswasser, tiefer Erde, tiefem Seewasser oder anderen natürlichen Kühlmitteln auch die in S-Speichern und eventuell in C-Speichern gespeicherte Wassereiskälte z.B. in der Warmzeit wie Sommer genutzt wird. Dazu verwendet werden können ebenfalls die Verdampfungskälte von CO₂-Flüssigkeiten, die Entspannungskälte der CO₂-Fluide aus Turbinen oder die in Kolbenkraftmaschinen, Kältemaschinen oder anderen Maschinen erzeugte Kälte, und

1.6 dass zum CO₂-Gasspeichern die C-Speicheranlage verwendet wird, die ein Teil der entspannten CO₂-Fluide aus den Wärmekraftmaschinen z.B. in der Warmzeit wie Sommer empfängt und dann so lange speichert, bis eine Kaltzeit wie Winter erreicht wird, wo es verflüssigt wird und dann in Raum 1 der S-Speicher aufzubewahren ist, und

1.7 dass zum CO₂-Flüssigkeits speichern die S-Speicheranlage verwendet wird, um die in der Kaltzeit wie Winter aus CO₂-Gasen kondensierten CO₂-Flüssigkeiten aufzunehmen, welche aufgrund der Wärmeisolierschichten von den S-Speichern gegen die Außenseiten wärmeisoliert sind und sich unter niedrigen Drücken eventuell bis zur Warmzeit wie Sommer stabil speichern lassen, und

1.8 dass zur Wärme- bzw. Kälteübertragung mit Warmwasser bzw. Wassereis als Arbeitsmedium die S-Speicheranlage und auch die C-Speicheranlage benutzt werden, die eine Rolle für die Wärme- bzw. Kältespeicherung z.B. von Sommer- bis zu Winterzeiten bzw. von Winter- bis zu Sommerzeiten spielen, um Kohlendioxid in den Winterzeiten bzw. Sommerzeiten zu heizen bzw. zu kühlen.

2. Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk nach dem Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass CO₂-Flüssigkeit so in der folgenden Reihenfolge von 2.1 bis 2.4 gespeichert oder genutzt wird:

2.1 Indem in der Kaltzeit wie Winter die CO₂-Flüssigkeit in Raum 1 eines S-Speichers abgefüllt und der Raum 2 des S-Speichers mit Wassereis vollgefüllt und gespeichert wird sowie aufgrund der Wärmeisolierschicht im Raum 3 des S-Speichers das Wassereis gegen die Außenseiten wärmeisoliert wird und demzufolge die CO₂-Flüssigkeit unter niedrigen Drücken eventuell bis zur Warmzeit wie Sommer stabil gespeichert wird, und

2.2 indem in der Warmzeit wie Sommer die durch Schritt 2.1 im Raum 1 gespeicherte CO₂-Flüssigkeit zu ihrem Heizen aus dem Raum 1 ausgeleitet und dann in einen Behälter der Behältergruppe oder einen Verdampfer des CO₂-Kraftwerks eingeleitet wird, wo sie verdampft und die dabei entstandene Verdampfungskälte zur Verflüssigung eines Teils vom entspannten CO₂-Gas aus den Wärmekraftmaschinen ausgenutzt wird, sowie zugleich das Wassereis im Raum 2 zur CO₂-Gaskondensation mittels Wärmetauscher verwendet wird, und schließlich der Raum 1 entleert und das Wassereis im Raum 2 komplett geschmolzen wird, und

2.3 indem in der Warmzeit wie Sommer der durch Schritt 2.2 leer gewordene Raum 1 zum Speichern von Warmwasser mit z.B. 95 °C verwendet wird und das geschmolzene Wasser im Raum 2 über Wärmetauscher zu Warmwasser bis zu z.B. 95 °C erwärmt und gespeichert wird, und

2.4 indem in der Kaltzeit wie Winter zum CO₂-Heizen die durch Schritt 2.3 im Raum 1 gespeicherte Wärme vom Warmwasser durch dessen Ausfuhr und dann mittels Wärmetauscher genutzt und die Wärme vom Warmwasser im Raum 2 über Wärmetauscher ebenfalls zum CO₂-Heizen verwendet wird, schließlich der Raum 1 entleert und das Warmwasser kalt wird. Dann beginnt der Schritt 2.1 erneut, und

2.5 falls die Wärmeisolierschicht im Raum 3 eines S-Speichers mit einem hinreichend großen Wärmeleitwiderstand ausgelegt wird, kann das Volumen von dem Raum 2 und Zylinder 2 des S-Speichers gleich null angesetzt werden, so dass sich die o.g. Schritte von 2.1 bis 2.4 in Bezug auf die Speicherung und Nutzung von CO₂-Flüssigkeit und Warmwasser im Raum 1 gleichermaßen prozessieren lassen.

3. Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk nach dem Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass Wassereis so in der folgenden Reihenfolge von 3.1 bis 3.4 gespeichert oder genutzt wird:

3.1 Indem in der Kaltzeit wie Winter das Wassereis in Raum 2 eines S-Speichers durch unterschiedliche Methoden befüllt wird, beispielsweise durch Eistransport und/oder durch die Erstarrung von dort schon vorhandener oder noch einzulassender Wasserflüssigkeit, und aufgrund der Wärmeisolierschicht im Raum 3 des S-Speichers gegen die Außenseiten wärmeisoliert und aufzubewahren ist sowie zugleich der o.g. Schritt 2.1 in Bezug auf die Speicherung von CO₂-Flüssigkeit im Raum 1 des S-Speichers zu beachten ist, und

3.2 indem in der Warmzeit wie Sommer das durch Schritt 3.1 im Raum 2 aufbewahrte Wassereis zur Verflüssigung von einem Teil der entspannten CO₂-Gase aus den Wärmekraftmaschinen durch Wärmetauscher und

seine Schmelzenthalpie komplett ausgenutzt wird und zugleich der o.g. Schritt 2.2 in Bezug auf die Nutzung der CO₂-Flüssigkeit im Raum 1 zu beachten ist, und

3.3 indem in der Warmzeit wie Sommer das durch Schritt 3.2 im Raum 2 geschmolzene Wasser mittels Wärmetauscher zu Warmwasser bis zu z.B. 95 °C erwärmt und gespeichert wird und eventuell eine gewisse Menge von Warmwasser mit z.B. 95 °C in den Raum 2 einzulassen ist sowie zugleich der o.g. Schritt 2.3 in Bezug auf Speicherung von Warmwasser im Raum 1 zu beachten ist, und

3.4 indem in der Kaltzeit wie Winter das durch Schritt 3.3 im Raum 2 gespeicherte Warmwasser zum Heizen der CO₂-Fluide vor dem Eintritt in die Wärmekraftmaschinen mittels Wärmetauscher ganz ausgenutzt wird und zugleich der Schritt 2.4 in Bezug auf die Nutzung vom Warmwasser im Raum 1 zu beachten ist. Dann beginnt der Schritt 3.1 erneut, und

3.5 falls der Durchmesser vom Zylinder 1 eines S-Speichers gleich null angesetzt, nämlich der S-Speicher zu einem C-Speicher abgewandelt wird, dann lassen sich die o.g. Schritte von 3.1 bis 3.4 in Bezug auf die Speicherung und Nutzung von Wassereis und Warmwasser im Raum 2 des S-Speichers gleichermaßen prozessieren. Falls zusätzlich das Volumen von Raum 3 und Zylinder 3 des C-Speichers gleich null ausgelegt wird, kann z.B. CO₂-Gas in der Warmzeit wie Sommer im C-Speicher gespeichert und in der Kaltzeit wie Winter mit winterlicher Kälte verflüssigt werden.

4. Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk nach dem Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in Raum 1 der S-Speicher kühlgespeicherte CO₂-Flüssigkeit zur Kälteproduktion durch ihre Verdampfung in einem Verdampfer verwendet wird, welcher mit einem CO₂-Gaskondensator so verbunden ist, dass die Verdampfungskälte zur Verflüssigung eines Teils des entspannten CO₂-Gases aus den Wärmekraftmaschinen im Kondensator verwendet wird. Dabei können der Verdampfer und der Kondensator eine und dieselbe Wärmeübertragungseinrichtung sein.

5. Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk nach dem Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kälte, die durch die CO₂-Druckminderung in den Kolbenkraftmaschinen des CO₂-Kraftwerks erzeugt wird, zur Verflüssigung des CO₂-Gases aus einer der restlichen Wärmekraftmaschinen des CO₂-Kraftwerks mittels Wärmetauscher ausgenutzt wird.

6. Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk nach dem Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die durch CO₂-Entspannung in einer Teilgruppe der Wärmekraftmaschinen des CO₂-Kraftwerks entstandene Kälte zur Verflüssigung des CO₂-Gases aus einer der restlichen Wärmekraftmaschinen des CO₂-Kraftwerks mittels Wärmetauscher verwendet wird.

7. Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk nach dem Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur CO₂-Verflüssigung die Kältemaschinen z.B. mit Wasser-Ammoniak-Gemisch als Arbeitsmedium in der Warmzeit wie Sommer eingesetzt werden, die z.B. durch Solarwärme betrieben werden können.

8. Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk nach dem Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Venturi-Düse (4), an derer engsten Stelle durch eine Rohrleitung mit einem C-Speicher verbunden ist und durch die ein Teil der entspannten CO₂-Fluide aus den Wärmekraftmaschinen durchfließt, zum Ansaugen des CO₂-Gases aus dem C-Speicher eingesetzt wird, um den Energieverbrauch zur Verflüssigung von angesaugtem CO₂-Gas in einem CO₂-Kondensator zu senken. Dabei kann in der Rohrleitung ein Ventilator installiert werden, welcher das CO₂-Gas aus dem C-Speicher zur Düse oder zum Kondensator befördert.

9. Verfahren zur CO₂-Verflüssigung und -Speicherung in einem CO₂-Kraftwerk nach den Patentansprüchen 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass Atomkraftwerke oder Kohlekraftwerke auf CO₂-Kraftwerkeumgebaut werden, wenn man die folgenden Maßnahmen durchführt,

9.1 dass dort die Heizkessel für die Verbrennung von CO₂-neutralen Brennstoffen wie Pflanzenstroh und Abholz

oder notfalls auch von Kohlen zum CO₂-Heizen aufgebaut werden,

9.2 dass dort eine CO₂-Trennanlage zur CO₂-Separierung aus dem Rauchgas, das durch die im Punkt 9.1 genannte Verbrennung entsteht, aufgebaut wird, um das dadurch getrennte Kohlendioxid in die CO₂-Kraftwerke einzusetzen,

9.3 dass die sie umgebenden Brachländer und ihre genehmigten Hoch- und Tiefbaurechte zum Bau der S- und C-Speicheranlagen sowie zum Bau der CO₂-Behälter genutzt werden,

9.4 dass neue CO₂-Kondensationseinrichtungen dort aufgestellt werden,

9.5 dass ihre genehmigten Wasserrechte genutzt werden, um Kohlendioxid durch Wärme- bzw. Kälteübertragung mit Wasser als Arbeitsmedium zu heizen bzw. zu kühlen,

9.6 dass ihre eventuell vorliegenden Kühltürme zum CO₂-Kühlen ausgenutzt werden,

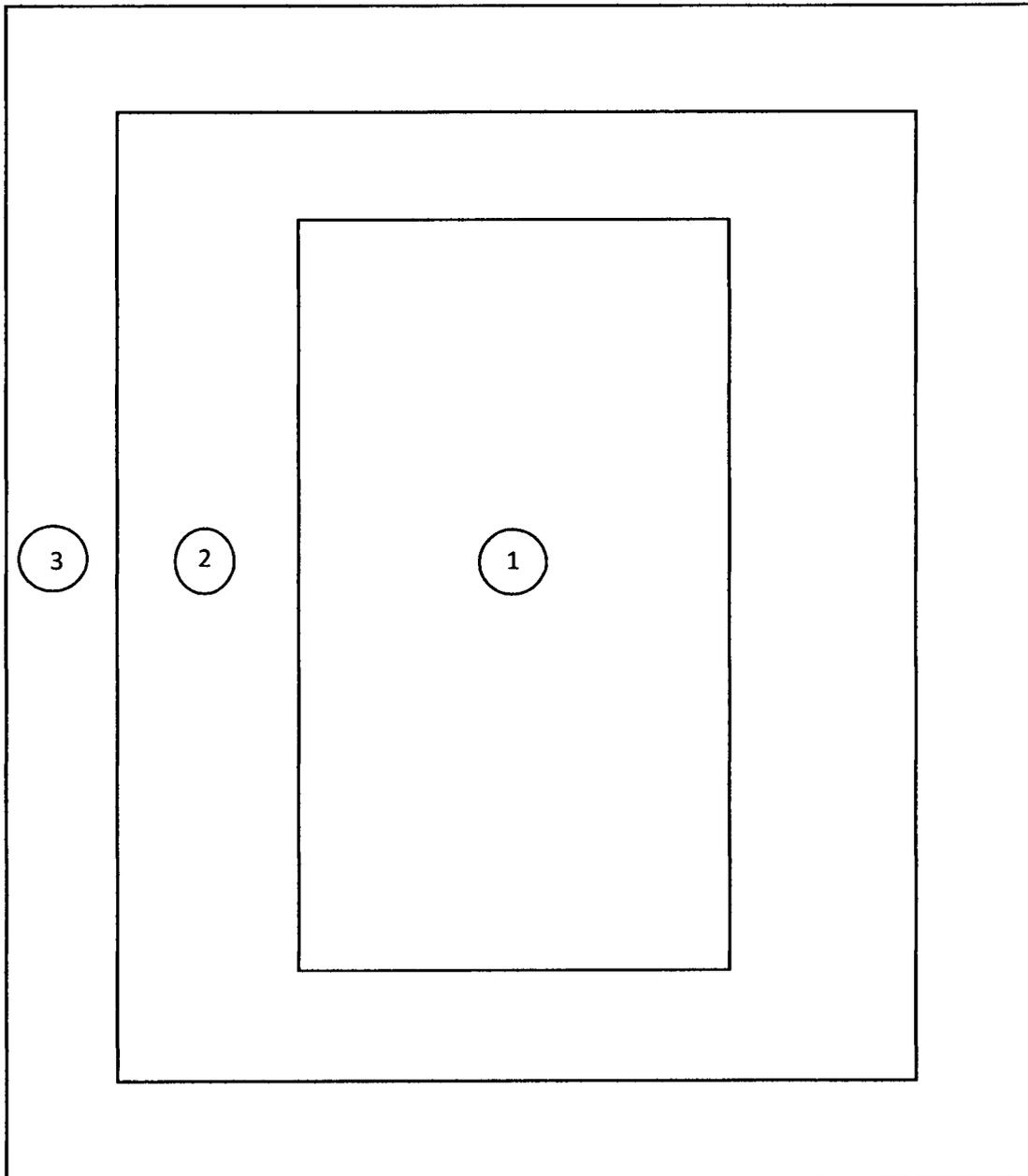
9.7 dass ihre Wärmekraftmaschinen mit Kohlendioxid anstatt Wasser als Arbeitsmedium unter geeigneten CO₂-Drücken und mit passenden CO₂-Temperaturen zur Energieumwandlung weiter eingesetzt werden, obwohl sie im Vergleich zu CO₂-spezifischen Wärmekraftmaschinen unter den gleichen Bedingungen von ihrem CO₂-Eingangsdruck und -temperatur sowie ihrem CO₂-Ausgangsdruck und -temperatur einen niedrigeren Wirkungsgrad der Energieumwandlung aufweisen könnten,

9.8 dass ihre vorliegenden Elektroanlagen, Druckbehälter, Messgeräte, Kontroll- und Steuerungssysteme und ihre ähnlichen Bestandskomponenten umgerüstet und weiterverwendet werden.

10. Anlagensystem für CO₂-Verflüssigung und -Speicherung zur Energieumwandlung mit Kohlendioxid als Arbeitsmedium und als Energieträger, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Anlagensystem eingerichtet ist zur Energieerzeugung nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1-9.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Figur 1: S-Speicher



Figur 2: CO₂-Kraftwerk

