

5

Verfahren zum Betreiben einer Verbrennungskraftmaschine eines
Wasserfahrzeugs

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft eine Verwendung von, insbesondere global CO₂-neutral
10 hergestelltem, Methanol als Kraftstoff für einen Verbrennungsmotor eines
Wasserfahrzeugs. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betreiben eines
Verbrennungsmotors eines Wasserfahrzeugs und ein Wasserfahrzeug mit einem
nachhaltigen Antriebssystem.

Mobilität, insbesondere auch von Gütern, ist eine der wichtigsten
15 Voraussetzungen für wirtschaftlichen Erfolg, Beschäftigung und Wohlstand.
Mobilität bedeutet zugleich aber auch eine starke Umweltbelastung durch
Verkehrssysteme und durch die in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich
angestiegene, globale Verkehrsleistung. Zwar hat sich die Effizienz von
Verbrennungsmotoren deutlich verbessert und diese sind sauberer und leiser
20 geworden. Durch die gestiegene Verkehrsleistung werden aber weiterhin große
Mengen an Klimagasen und Luftschadstoffen erzeugt und in die Atmosphäre
abgegeben. Mit der Zunahme der Verkehrsleistung hat sich der Energieverbrauch
des Verkehrs bspw. in Deutschland seit 1960 mehr als verdreifacht. Aktuell ist der
Verkehr für etwa ein Fünftel der Treibhausgasemissionen in Deutschland
25 verantwortlich. Was für die Umwelt- und Klimabelastung in Deutschland gilt, gilt
auch für die globale Klimasituation, die wesentlich unter der Verbrennung fossiler
Brennstoffe im Schiffsverkehr leidet. Dies betrifft nicht nur die Berufsschifffahrt,
sondern im besonderen Maße auch die Freizeitschifffahrt.

Um dieser negativen Entwicklung entgegenzuwirken und Klimaschäden zu
30 begrenzen, sollen bspw. mit dem in Deutschland beschlossenen Klimaschutzplan
2050 die jährlichen Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor von aktuell rund
160 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente auf 95 bis 98 Millionen Tonnen CO₂-
Äquivalente im Jahr 2030 gesenkt werden. Die Europäische Kommission verfolgt
ebenfalls das Ziel, das europäische Mobilitätssystem bis zum Jahr 2050 zu
35 dekarbonisieren, also treibhausgasneutral zu gestalten. Der Erfolg hängt davon
ab, ob die für das Erreichen dieser Ziele getroffenen Maßnahmen von breiten
Gesellschaftsschichten getragen werden und ob diese Maßnahmen wirtschaftlich

sind. Zentrales Ziel ist es, die heutigen Mobilitätsbedürfnisse breiter Bevölkerungsgruppen in Zukunft in einer möglichst umweltverträglichen Weise zu gewährleisten. Das bedeutet, dass eine erfolgreiche Mobilitätslösung nicht nur technisch machbar und zielführend sein muss, sondern sich auch an den Kosten aktueller Mobilitätslösungen messen lassen muss.

Die Verwendung synthetisch hergestellter Brennstoffe ist ein wichtiger Baustein bei der Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte. Dabei spielt Methanol als Brennstoff eine wichtige Rolle. Die Herstellung von Methanol erfolgt durch die Synthese von Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid, die regenerativ bzw. treibhausgasneutral gewonnen werden. Dazu ist bspw. in WO 2018/112654 A1 ein Verfahren beschrieben, bei dem Wasserstoff durch Elektrolyse hergestellt und Kohlenstoffdioxid durch direkte Abscheidung aus der Umgebungsluft gewonnen wird, die zur Erzeugung von Methanol verwendet werden. Das bekannte Verfahren ist allerdings nicht dazu geeignet, einen Energieträger in ausreichender Menge und mit der erforderlichen Wirtschaftlichkeit bereitzustellen, um in spürbarem Ausmaß die Klimabelastungen zu verringern und gleichzeitig den aktuellen Mobilitätsbedürfnissen zu genügen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Möglichkeit bereitzustellen, Wasserfahrzeuge klimafreundlich zu betreiben. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, ein klimafreundliches Betriebsverfahren für Wasserfahrzeuge sowie ein Wasserfahrzeug mit einem klimafreundlichen Antriebssystem anzugeben.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Betriebsverfahren gemäß Patentanspruch 1, eine Verwendung gemäß Patentanspruch 5 und ein Wasserfahrzeug gemäß Patentanspruch 8 gelöst.

So beruht die Erfindung auf dem Gedanken, eine Verwendung von Methanol in einer Verbrennungskraftmaschine, insbesondere einem Stromaggregat, eines, insbesondere hybridelektrisch angetriebenen, Wasserfahrzeugs anzugeben, wobei das Methanol in einem Verfahren hergestellt wird, bei dem

- in einer Elektrolyseeinheit zur Herstellung von Wasserstoff Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird,

- eine Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit aus der Umgebungsluft Kohlenstoffdioxid extrahiert,
- einer Methanolsyntheseinheit zur Herstellung von Methanol der Wasserstoff und das Kohlenstoffdioxid zugeführt und darin zu Methanol synthetisiert werden und
- eine Photovoltaikeinheit Sonnenenergie aufnimmt und in elektrische Energie umwandelt.

Die Elektrolyseeinheit, die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit und die Methanolsyntheseinheit werden dabei durch die in der Photovoltaikeinheit erzeugte elektrische Energie betrieben.

Durch die Verwendung von Methanol, dass durch die zuvor beschriebenen Verfahrensschritte hergestellt wird, kann ein Wasserfahrzeug klimafreundlich, insbesondere klimaneutral, betrieben werden. Insofern bietet diese Technologie Potential, um eine klimaneutrale Freizeitmobilität und einen klimaneutralen Gütertransport zu erreichen. Das Methanol, das vorzugsweise in Regionen mit hoher jährlicher Sonneneinstrahlung CO₂-neutral erzeugt wird, beispielsweise in Saudi-Arabien, dem Oman, Australien oder sonstigen Regionen, die eine kontinuierlich hohe Sonneneinstrahlung haben, ist leicht zu transportieren und zu lagern. Daher eignet sich Methanol besonders als weltweit einsetzbarer Energieträger.

Ferner weist Methanol eine ausreichende Energiedichte auf, so dass es für den Schiffsverkehr sinnvoll genutzt werden kann. Auch das Betanken erfolgt deutlich schneller als das Laden eines Akkumulators, so dass ein solches Antriebskonzept eine höhere Akzeptanz, insbesondere in der Berufsschifffahrt, erwarten lässt. Dies gilt insbesondere für den Betrieb von leichten Fähren oder Ausflugschiffen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Wasser zunächst in einer Meerwasserentsalzungseinheit entsalzt und anschließend der Elektrolyseeinheit zugeführt wird, wobei die Meerwasserentsalzungseinheit hauptsächlich, insbesondere vollständig, durch die in der Photovoltaikeinheit erzeugte elektrische Energie betrieben wird.

Die Photovoltaikeinheit kann zur Umwandlung von Sonnenenergie in Strom eine Leistung, insbesondere Spitzenleistung, von mindestens 1,0 Gigawatt, insbesondere mindestens 1,3 Gigawatt, insbesondere mindestens 1,5 Gigawatt aufweisen. Vorzugsweise hat die Meerwasserentsalzungseinheit zur Herstellung von entsalztem Wasser eine Aufnahmekapazität von mindestens 900000 Tonnen Meerwasser pro Jahr. Die Elektrolyseeinheit kann zur Herstellung von Wasserstoff durch wenigstens eine Rohrleitung mit der Meerwasserentsalzungseinheit zur Versorgung mit Wasser, insbesondere mit entsalztem Wasser, verbunden sein. Die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit zur Sorption von Kohlenstoffdioxid aus der Umgebungsluft kann eine Extraktionsleistung von mindestens 400000 Tonnen Kohlenstoffdioxid pro Jahr, insbesondere von mindestens 600000 Tonnen Kohlenstoffdioxid pro Jahr, aus der Umgebungsluft haben. Die Methanolsyntheseinheit kann zur Herstellung von Methanol durch wenigstens eine Rohrleitung mit der Elektrolyseeinheit zur Versorgung mit Wasserstoff und durch wenigstens eine Rohrleitung mit der Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit zur Versorgung mit Kohlenstoffdioxid verbunden sein.

Die Meerwasserentsalzungseinheit, die Elektrolyseeinheit, die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit und die Methanolsyntheseinheit können jeweils mit der Photovoltaikeinheit zur Stromversorgung verbunden und in einem zusammenhängenden Anlagenbereich mit der Photovoltaikeinheit angeordnet sein.

Besonders bevorzugt ist es, wenn das Methanol in einer Region mit hoher Sonneneinstrahlung, insbesondere einer Sonneneinstrahlung von mehr als 2000 kWh/m²a, insbesondere mehr als 2300 kWh/m²a, insbesondere mehr als 2500 kWh/m²a, hergestellt wird. Dazu kann die Photovoltaikeinheit zur Aufnahme von mindestens 1500 kWh/m²a, insbesondere mindestens 2000 kWh/m²a, insbesondere mindestens 2300 kWh/m²a, insbesondere mindestens 2500 kWh/m²a, insbesondere mindestens 2700 kWh/m²a Sonnenenergie angepasst sein.

Die Methanolsyntheseinheit kann eine Abgabekapazität von mindestens 300000 Tonnen, insbesondere von mindestens 450000 Tonnen, regenerativ hergestelltem Methanol pro Jahr aufweisen. Eine Abgabekapazität von 450000 Tonnen regenerativ hergestelltem Methanol pro Jahr ist besonders bevorzugt.

Die prozesstechnisch relevanten Einheiten der Anlage können jeweils mit der Photovoltaikeinheit zur Stromversorgung verbunden und zusammen mit der Photovoltaikeinheit in einem zusammenhängenden Anlagebereich angeordnet sein. Das bedeutet, dass die einzelnen Einheiten in räumlicher Nähe zueinander
5 angeordnet und in einer einheitlichen Anlage zusammengefasst sind. Es ist nicht erforderlich, dass der Anlagebereich geschlossen ist. Die einzelnen Einheiten können beispielsweise durch Versorgungsstraßen voneinander getrennt sein, die durch die Anlage verlaufen. Damit wird erreicht, dass der Transport von Stoffströmen und die Stromversorgung zwischen den Einheiten mit möglichst
10 geringen Verlusten erfolgt.

Außerdem wird dadurch erreicht, dass die Anlage als Ganzes so aufgebaut ist, dass diese standortoptimiert positioniert und autark betrieben werden kann. Der besondere Vorteil der Kombination der Meerwasserentsalzungseinheit und der Photovoltaikeinheit besteht darin, dass die Anlage in geographischen Regionen,
15 wie im Nahen Osten oder Afrika, aufgestellt werden kann, die sowohl eine hohe Sonneneinstrahlung als auch Zugang zu Meerwasser haben, sodass einerseits die Energieversorgung der Anlage durch die Photovoltaikeinheit und andererseits die Bereitstellung von ausreichend großen Wassermengen für die Elektrolyseeinheit in wirtschaftlicher Weise ermöglicht wird.

20 Durch die Stromversorgung der Elektrolyseeinheit, die ausschließlich durch die Photovoltaikeinheit erfolgt, wird mit der Anlage auf regenerative Weise Wasserstoff hergestellt. Das für die Methanolherstellung erforderliche Kohlenstoffdioxid kann der Umgebungsluft der Anlage durch die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit entzogen werden. Durch die Kombination der
25 beiden Einheiten in der Anlage erfolgt die Methanolherstellung auf regenerative Weise ohne Erzeugung von Kohlenstoffdioxid. Vielmehr wird sogar durch die Entnahme des Kohlenstoffdioxids aus der Umgebungsluft die Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre verringert. Die Anlage ist damit geeignet, ein Teil eines klimaneutralen Energiesystems zu sein, das einen globalen
30 Kohlenstoffdioxidkreislauf mit regenerativ hergestelltem Methanol als Energieträger ausbildet. Dies bedeutet, dass die aus der Umgebungsluft entnommene Kohlenstoffdioxidmenge nicht entsorgt oder verklappt werden muss, wie dies üblicherweise der Fall ist, beispielsweise bei der bekannten Lagerung von Kohlenstoffdioxid in tief gelegenen Gesteinsschichten, wobei dies bspw. als
35 zusätzliche Maßnahme nicht ausgeschlossen ist. Das aus der Umgebungsluft

sorbierte Kohlenstoffdioxid ist ein wertvoller Stoff, der in der Anlage zur Herstellung eines synthetischen Kraftstoffes, nämlich Methanol verwendet wird und so einem Kohlenstoffdioxidkreislauf zugeführt werden kann.

- Die für die Umsetzung der weiter oben genannten Klimaziele erforderliche
- 5 Wirtschaftlichkeit der getroffenen Maßnahmen wird durch die Anlage ermöglicht. Zwar steigen im Vergleich zur Herstellung und Verwendung von Wasserstoff für Brennstoffzellen die Umwandlungsverluste durch die zusätzlichen Prozessschritte, die für die Synthetisierung von Methanol erforderlich sind. Dem stehen aber sehr viel größere wirtschaftliche Vorteile mit Blick auf die globalen Infrastrukturkosten
- 10 gegenüber, die bei der Verbrennung von Methanol im Vergleich zu rein elektrischen Antrieben oder der Brennstoffzellentechnologie entstehen. Die Kosten für aufwändige Ladestationen oder für die technisch aufwändige Speicherung von Wasserstoff entfallen bei der Verbrennung von regenerativ hergestelltem Methanol. Die Lagerung und der Transport von Methanol erfordern
- 15 keine besonderen Maßnahmen und sind mit der Handhabung herkömmlicher Kraftstoffe vergleichbar. Ein weiterer Vorteil von regenerativ hergestelltem Methanol im Vergleich zu den Energiequellen Wasserstoff oder Batterien besteht darin, dass die Energiedichte von Methanol mit 4,35 kWh/Liter sehr viel höher ist, als von Hochdruckwasserstoff (800 bar) mit 1,25 kWh/Liter, flüssigem
- 20 Wasserstoff mit 2,36 kWh/Liter und Batterien mit 0,5 kWh/Liter.

- Ein Vergleich der aktuellen Energiepreise, der einen ungefähren Anhaltspunkt für die Energiekosten einer Anlage zur regenerativen Herstellung von Methanol geben soll, zeigt, dass die im Rahmen der Anlage vorgesehene Photovoltaikeinheit eine wichtige Komponente ist, um nicht nur auf regenerative Weise synthetischen
- 25 Kraftstoff herzustellen, sondern diesen auch so wirtschaftlich herzustellen, dass der Kraftstoff sich im Wettbewerbskampf mit anderen Energiequellen durchsetzen kann. Die Energiepreise für Windenergie (2,39 EURct/kWh) und Wasserkraftenergie (1,71 EURct/kWh) liegen aktuell (2020) bereits weit unter den Energiepreisen für fossile Brennstoffe und natürlich Nuklearenergie. Allerdings ist
- 30 der Energiepreis für die Stromherstellung durch Photovoltaik noch niedriger und liegt bei 1,14 EURct/kWh für Strom, der in Regionen mit einer hohen und langen Sonneneinstrahlung, wie im Nahen Osten oder Afrika, erzeugt wird. Photovoltaikanlagen bspw. mit einer installierten Leistung von 2 Gigawatt existieren dort bereits und sind in der Lage Strom zu dem vorstehend genannten
- 35 Preis zu produzieren.

Die Anlage kann insofern dazu konzipiert sein, in Regionen installiert zu werden, in denen große Flächen landwirtschaftlich nicht genutzt werden können, weil diese Wüsten oder Steppen sind, sodass ausreichend große Flächen für eine entsprechend große Photovoltaikeinheit bereitstehen. Vorzugsweise beträgt die Leistung, insbesondere die Spitzenleistung der Photovoltaikeinheit mindestens 1,0 Gigawatt, insbesondere mindestens 1,3 Gigawatt, insbesondere mindestens 1,5 Gigawatt. Die Meerwasserentsalzungseinheit zur Herstellung von entsalztem Wasser ist für eine Aufnahmekapazität von mindestens 900000 Tonnen Meerwasser pro Jahr ausgelegt. Die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit ist vorzugsweise für eine Extraktionsleistung von mindestens 400000 Tonnen Kohlenstoffdioxid pro Jahr, insbesondere von mindestens 600000 Tonnen Kohlenstoffdioxid pro Jahr aus der Umgebungsluft ausgelegt. Die Meerwasserentsalzungseinheit und die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit sind damit leistungsmäßig auf die Methanolsyntheseinheit abgestimmt, die eine Abgabekapazität von mindestens 300000 Tonnen, insbesondere von mindestens 450000 Tonnen regenerativ hergestellten Methanol pro Jahr aufweist. Der für die Stromversorgung der vorstehend genannten Prozesseinheiten einschließlich der Elektrolyseeinheit erforderliche Strom wird durch die Photovoltaikeinheit bereitgestellt, die zur Aufnahme von mindestens 1500 kWh/m²a, insbesondere mindestens 2000 kWh/m²a, insbesondere mindestens 2300 kWh/m²a, insbesondere mindestens 2500 kWh/m²a, insbesondere mindestens 2700 kWh/m²a Sonnenenergie angepasst ist. Die Einheit kWh/m²a bedeutet Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr.

Die Anlage kann die Basiseinheit für einen größeren Anlagenkomplex mit mehreren Anlagen bilden, die entsprechend der vorab beschriebenen Anlage ausgebildet sind. Damit lässt sich die Methanolherstellung in größeren Mengen skalieren, sodass bei einer entsprechenden Anlagenanzahl ein großer, insbesondere der gesamte Energiebedarf der Weltbevölkerung gedeckt werden kann.

Die Erfindung beruht ferner auf dem Gedanken, ein Verfahren zum Betreiben einer Verbrennungskraftmaschine eines Wasserfahrzeugs, insbesondere auf Binnengewässern, anzugeben, bei dem

- in einer Elektrolyseeinheit zur Herstellung von Wasserstoff Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird,

- eine Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit aus der Umgebungsluft Kohlenstoffdioxid extrahiert,
- einer Methanolsyntheseinheit zur Herstellung von Methanol der Wasserstoff und das Kohlenstoffdioxid zugeführt und darin zu Methanol synthetisiert werden,
- eine Photovoltaikeinheit Sonnenenergie aufnimmt und in elektrische Energie umwandelt.

Erfindungsgemäß werden die Elektrolyseeinheit, die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit und die Methanolsyntheseinheit durch die in der Photovoltaikeinheit erzeugte elektrische Energie betrieben, wobei das hergestellte Methanol mittels eines Verteilsystems zu wenigstens einem Tank des Wasserfahrzeugs transportiert und von dem Tank bedarfsweise dem Verbrennungsmotor zugeführt wird und darin zur Erzeugung mechanischer Energie verbrannt wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Verbrennungskraftmaschine Teil eines Stromaggregats eines hybridelektrisch angetriebenen Wasserfahrzeugs, wobei im Stromaggregat die mechanische Energie der Verbrennungskraftmaschine in elektrische Antriebsenergie für den Vortrieb des Wasserfahrzeugs umgewandelt wird.

Das Verteilsystem ist vorzugsweise dazu angepasst, das regenerativ hergestellte Methanol von der Abgabevorrichtung an Endverbraucher zur Verbrennung des regenerativ hergestellten Methanol zu verteilen. Das Verteilsystem ist beispielsweise in Form eines Logistiknetzes ausgebildet, bei dem das Methanol in Tankzügen zu Tankstellen, vorzugsweise in Häfen, transportiert wird. An den Tankstellen kann der Tank, insbesondere ein Methanol-Kraftstofftank, des Wasserfahrzeugs mit Methanol betankt werden.

Dem Verteilsystem kann ein Transportsystem vorgeschaltet sein, das mit der Methanolsyntheseinheit der erfindungsgemäßen Anlage verbunden oder verbindbar und dazu angepasst ist, das durch die Methanolsyntheseinheit regenerativ hergestellte Methanol von der Methanolsyntheseinheit zu wenigstens einer Abgabevorrichtung zu transportieren. Das Transportsystem kann stationär

oder mobil sein und beispielsweise Pumpen und Rohrleitungen oder den Transport durch Tankschiffe umfassen. Die Tankschiffe können ebenfalls durch das hier beschriebene Verfahren betrieben werden. Hierbei kann auf an sich bekannte Transportsysteme, beispielsweise für den Transport von Rohöl

5 zurückgegriffen werden. Die Abgabevorrichtung kann ein Speichertank in einem Hafen oder an einer Pumpstation sein.

- Bei der Verbrennung des regenerativ hergestellten Methanols entsteht Kohlenstoffdioxid, das in die Atmosphäre gelangt. Der angestrebte Kohlenstoffdioxidkreislauf wird dadurch geschlossen, dass die Kohlenstoffdioxid-
- 10 Sorptionseinheit das in die Atmosphäre gelangte Kohlenstoffdioxid direkt oder indirekt aus dieser wieder abscheidet und für den Methanolherstellungsprozess verwendet. Das so hergestellte Methanol und damit das für dessen Herstellung verwendete Kohlenstoffdioxid wird dem Kohlenstoffdioxidkreislauf wieder zugeführt.
- 15 Dass die das Methanol nutzenden Wasserfahrzeuge und der Ort der Herstellung des Methanols räumlich weit voneinander getrennt sind, ist unerheblich, da es um die Gesamtbilanz des in der Atmosphäre befindlichen Kohlenstoffdioxids geht, die durch Ausbildung des geschlossenen Kohlenstoffdioxidkreislaufes konstant bleibt. Es ist sogar möglich, die Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre zu
- 20 senken, wenn die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit einen Überschuss an Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre entfernt, der nicht in den Kreislauf durch Methanol als Energieträger zurückgegeben wird. Das überschüssige Kohlenstoffdioxid wird dann anderweitig entsorgt, beispielsweise durch die bereits auf Island praktizierte Lagerung in tief gelegenen Gesteinsschichten.
- 25 Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Wasser in einer Meerwasserentsalzungseinheit entsalzt und anschließend der Elektrolyseeinheit zugeführt, wobei die Meerwasserentsalzungseinheit hauptsächlich, insbesondere vollständig, durch die in der Photovoltaikeinheit erzeugte elektrische Energie betrieben wird.
- 30 Zum Verständnis der Erfindung ist es wesentlich, dass das Methanol in der Verbrennungskraftmaschine als Hauptkraftstoff verwendet wird. Das Methanol bildet also keinen Zusatzstoff, der einem weiteren Kraftstoff zugemischt wird.

Vielmehr wird das Methanol so verwendet, dass die Verbrennungskraftmaschine unmittelbar damit betrieben wird.

Die Verbrennungskraftmaschine ist vorzugsweise ein Hubkolbenmotor, der mit einem Kompressionsverhältnis von mindestens 14:1, insbesondere mindestens
5 16:1, insbesondere mindestens 18:1, insbesondere mindestens 20:1, betrieben wird. Der Hubkolbenmotor kann insbesondere ein Viertakt-Ottomotor sein.

Derzeit hat der Dieselmotor bei Wasserfahrzeugen einen hohen Marktanteil. Die Verwendung von Methanol ermöglicht aber den Betrieb eines Ottomotors mit einer sonst unüblich hohen Verdichtung. Bei der hohen Verdichtung wird,
10 insbesondere in einem Betrieb bei einem ausgeglichenen Verbrennungsluftverhältnis ($\lambda=1$), eine erhebliche Steigerung des Wirkungsgrads erreicht. Damit kann eine hohe Leistung in einem Viertakt-Ottomotor bei niedrigen Kraftstoffverbrauch erzielt werden. Gleichzeitig entfällt ein Großteil der bei Dieselmotoren erforderlichen und sehr aufwändigen Abgasnachbehandlung,
15 was Raum und Gewicht spart und somit weiter die Effizienz des Wasserfahrzeugs steigert. Insbesondere wird auf diese Weise Raum zur Verfügung gestellt, um eine Antriebsbatterie für einen Hybrid-Antriebsstrang in das Wasserfahrzeug zu integrieren.

Ein Teil des Methanols kann in einer Spalteinheit in ein Synthesegas, das
20 Wasserstoff und Kohlenmonoxid umfasst oder daraus besteht, aufgespalten und das Synthesegas alleine oder zusammen mit dem Methanol in den Hubkolbenmotor geleitet werden, wobei die Spalteinheit im Wasserfahrzeug, insbesondere zwischen einem Tank und dem Hubkolbenmotor, angeordnet ist. Das Synthesegas kann die Zündwilligkeit des Methanol-Kraftstoffs erhöhen und
25 somit zu einem noch effizienteren Betrieb des Hubkolbenmotors beitragen.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Wasserfahrzeug mit einem Antriebssystem, wobei das Antriebssystem ein Stromaggregat, wenigstens eine Antriebsbatterie und wenigstens einen Elektromotor aufweist, der elektrische Energie aus der Antriebsbatterie bezieht. Das Stromaggregat umfasst einen
30 Zweizylinder-Hubkolbenmotor mit zwei Zylinder-Kolbeneinheiten in Tandemanordnung und wenigstens einen Generator zur Erzeugung elektrischer Energie, wobei jede Zylinder-Kolbeneinheit eine Kurbelwelle aufweist und die Kurbelwellen beider Zylinder-Kolbeneinheiten miteinander mechanisch gekoppelt

sind, und wobei wenigstens eine Kurbelwelle, insbesondere beide Kurbelwellen jeweils, mechanisch mit dem wenigstens einen Generator verbunden ist.

Der Zweizylinder-Hubkolbenmotor ist vorzugsweise für den Betrieb mit Methanol, insbesondere regenerativ hergestelltem Methanol, als Haupt-Kraftstoff angepasst.

- 5 Vorzugsweise wirkt der Elektromotor über ein Getriebe oder direkt auf eine Antriebswelle eines Propellers. Der Propeller kann im Betrieb des Wasserfahrzeugs frei im Wasser drehen oder in einen Wasserstrahlantrieb integriert sein.

- 10 Ferner kann ein Tank vorgesehen sein, der mit dem Zweizylinder-Hubkolbenmotor fluidverbunden und zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, mit regenerativ hergestelltem Methanol befüllt ist. Es ist möglich, dass das Antriebssystem mehrere Stromaggregate aufweist, die jeweils mit einer gemeinsamen oder mehreren separaten Antriebsbatterien elektrisch verbunden sind.

- 15 Besonders bevorzugt ist es, wenn der Zweizylinder-Hubkolbenmotor des zuvor beschriebenen Wasserfahrzeugs nach dem vorangestellt beschriebenen Verfahren betrieben wird.

- 20 Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezug auf die beigefügten schematischen Zeichnungen mit weiteren Einzelheiten näher erläutert.

In diesen zeigen

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Anlage zur Herstellung eines global nutzbaren Energieträgers nach einem bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel;
- 25 Fig. 2 eine perspektivische Ansicht einer Anlage zur Herstellung eines global nutzbaren Energieträgers nach einem weiteren bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel;
- Fig. 3 eine Draufsicht auf einen flächigen Anlagenbereich der Anlage gemäß Fig. 2;

- Fig. 4 einen schematischen Querschnitt durch den flächigen Anlagensbereich der Anlage gemäß Fig. 3;
- Fig. 5 ein Flussdiagramm des Verfahrens zur Herstellung eines global nutzbaren Energieträgers mit der Anlage nach Fig. 1 oder der Anlage nach Fig. 2 und
- Fig. 6 eine Querschnittsansicht eines Stromaggregats eines erfindungsgemäßen Wasserfahrzeugs nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel.

Im Folgenden werden für gleiche und gleich wirkende Teile dieselben Bezugsziffern verwendet.

Fig. 1 zeigt das Ausführungsbeispiel einer Anlage 10, die für die Herstellung eines global nutzbaren Energieträgers in der Form von Methanol konzipiert ist. Die Anlage 10 umfasst eine Elektrolyseeinheit 11, eine Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12, eine Meerwasserentsalzungseinheit 27 sowie eine Methanolsyntheseeinheit 34. Für die Stromversorgung der vorstehend genannten Einheiten ist eine Photovoltaikeinheit 24 vorgesehen, die mit den entsprechenden Einheiten 11, 12, 27, 34 elektrisch verbunden ist.

Wie Fig. 1 zu entnehmen ist, sind die vorstehend erwähnten Anlagenkomponenten auf einem zusammenhängenden Anlagengelände angeordnet, sodass der Austausch der Stoff- und Energieströme zwischen den verschiedenen Einheiten und die Stromversorgung mit möglichst geringen Verlusten erfolgen. Die Form der Anlage ist nicht auf die in Fig. 1 gezeigte Form beschränkt.

Die Elektrolyseeinheit 11 ist für die Versorgung mit Wasser, insbesondere mit entsalztem Wasser, mit der Meerwasserentsalzungseinheit 27 durch wenigstens eine Rohrleitung (nicht dargestellt) verbunden. Durch die Rohrleitung wird das entsalzte Wasser der Elektrolyseeinheit 11 zugeführt. Die Methanolsyntheseeinheit 34 ist einerseits durch wenigstens eine Rohrleitung mit der Elektrolyseeinheit 11 und andererseits durch mindestens eine weitere Rohrleitung mit der Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 verbunden. Durch die beiden Rohrleitungen wird der in der Elektrolyseeinheit 11 hergestellte Wasserstoff und

das in der Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 abgeschiedene Kohlenstoffdioxid der Methanolsyntheseinheit 34 zugeführt. In der Methanolsyntheseinheit 34 wird daraus Methanol hergestellt.

Die Meerwasserentsalzungseinheit kann so ausgelegt sein, dass diese mindestens
5 900000 t Meerwasser pro Jahr aufnehmen und entsalzen kann. Die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit kann auf eine Extraktionsleistung von mindestens 400000 Tonnen Kohlenstoffdioxid pro Jahr, insbesondere von mindestens 600000 Tonnen Kohlenstoffdioxid pro Jahr ausgelegt sein, das aus der Umgebungsluft entnommen wird. Die Methanolsyntheseinheit 34 ist dazu
10 angepasst, mindestens 300000 t, insbesondere 450000 t regenerativ erzeugtes Methanol pro Jahr herzustellen.

Die Photovoltaikeinheit 24 kann eine Leistung von ca. 1,5 GW aufweisen und je nach Sonneneinstrahlung mindestens 1500 kWh/m²a aufnehmen. Für den in Fig. 1 gewählten Standort im Nahen Osten ist die Photovoltaikeinheit 24 vorzugsweise
15 dazu angepasst, mindestens 2500 kWh/m²a aufzunehmen.

Die Elektrolyseeinheit 11 ist dazu ausgebildet, eine Wassermenge M_{H_2O} durch Elektrolyse in eine Sauerstoffteilmenge M_{O_2} und eine Wasserstoffteilmenge zu zerlegen. Die Elektrolyseeinheit 11 bildet somit eine Einheit zur Wasserelektrolyse. Die Elektrolyseeinheit 11 ist mit einer Wasserzuführleitung 13
20 zur Aufnahme der Wassermenge M_{H_2O} verbunden. Wie in Fig. 1 erkennbar ist, ist zwischen der Elektrolyseeinheit 11 und der Wasserzuführleitung 13 eine Pumpeneinheit 25 angeordnet. Die Pumpeneinheit 25 weist wenigstens eine Pumpe zur Beförderung von Wasser aus einem Wasserreservoir 26 auf. Das Wasserreservoir 26 kann ein Meer mit Meerwasser sein. Alternativ kann das
25 Wasserreservoir 26 ein See mit Süßwasser sein. Es ist auch möglich, dass die Wasserzuführleitung 13 mit einem Fluss verbunden ist, um Süßwasser für die Wasserelektrolyse zu entnehmen. Bei der in Fig. 1 gezeigten Anlage 10 ist die Wasserzuführleitung 13 mit einem Meer zur Entnahme von Meerwasser verbunden. Die Anlage 10 ist vorzugsweise in Küstennähe angeordnet, um die zu
30 überwindende Distanz zur Wasserzufuhr, insbesondere die Wasserzuführleitung 13 kurzzuhalten.

Die Pumpeneinheit 25 ist dazu ausgebildet, Meerwasser aus dem Meer zu fördern und weiteren Anlagenteilen bzw. Einheiten zur Weiterverarbeitung zur Verfügung

zu stellen. Um das Meerwasser für den Elektrolysevorgang durch die Elektrolyseeinheit 11 aufzubereiten, weist die Anlage 10 eine Meerwasserentsalzungseinheit 27 auf. Die Meerwasserentsalzungseinheit 27 ist mit der Pumpeneinheit 25 durch wenigstens eine Rohrleitung verbunden. Die Meerwasserentsalzungseinheit 27 ist dazu angepasst, aus der geförderten Meerwassermenge M_{H_2O} einen bestimmten Salzanteil herauszutrennen, so dass das Meerwasser nach dem Entsalzungsvorgang durch die Meerwasserentsalzungseinheit 27 einen verringerten Salzgehalt aufweist. Die entsalzte Meerwassermenge M_{H_2O} entspricht der Wassermenge M_{H_2O} , die durch die Elektrolyseeinheit 11 in eine Sauerstoffteilmenge M_{O_2} und eine Wasserstoffteilmenge zerlegt wird. Die Elektrolyseeinheit 11 ist mit der Meerwasserentsalzungseinheit 27 durch mindestens eine Rohrleitung verbunden. Um das entsalzte Meerwasser von der Meerwasserentsalzungseinheit 27 zu der Elektrolyseeinheit 11 zu fördern, kann wenigstens eine weitere Pumpe zwischengeschaltet sein.

Wie vorstehend beschrieben, ist die Elektrolyseeinheit 11 dazu ausgelegt, die aufgenommene Wassermenge M_{H_2O} in eine Wasserstoffteilmenge und eine Sauerstoffteilmenge M_{O_2} zu zerlegen. Die Wasserstoffteilmenge wird der Methanolsyntheseeinheit 34 zugeführt. Die Sauerstoffteilmenge M_{O_2} wird an die Umgebung abgegeben. Die Elektrolyseeinheit 11 ist vorzugsweise dazu angepasst, aus einer aufgenommenen Wassermenge M_{H_2O} von mindestens 1,5 kg eine Sauerstoffteilmenge M_{O_2} von mindestens 1,2 kg und eine Wasserstoffmenge von mindestens 0,15 kg, insbesondere von 0,19 kg abzutrennen. Zur Abgabe der erzeugten Sauerstoffteilmenge M_{O_2} weist die Elektrolyseeinheit 11 einen Sauerstoffauslass 16 auf, der in die Außenatmosphäre mündet. Die Anlage 10 weist eine Wasserstofftransporteinrichtung zur Zufuhr des Wasserstoffs zur Methanolsyntheseeinheit 34 auf, die nicht dargestellt ist.

Es ist möglich, dass die Anlage 10 einen Wasserstoffspeicher aufweist, so dass die Methanolsyntheseeinheit 34 möglichst kontinuierlich mit Wasserstoff versorgt werden kann.

Gemäß Fig. 1 weist die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 einen Lufteinlass 14 zur Zufuhr der Umgebungsluft UL und eine nachgeordnete Sorbereinrichtung 15 auf. Es ist möglich, dass die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 einen oder mehrere Lufteinlässe 14 aufweist. Die Sorbereinrichtung 15 ist mit dem

Lufteinlass 14 verbunden. Die Sorbereinrichtung 15 ist dazu angepasst, eine Kohlenstoffdioxidmenge aus der Umgebungsluft UL zu extrahieren. Die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 weist des Weiteren einen Luftauslass 17 auf, der in Vertikalrichtung nach oben ausgerichtet ist. Der Luftauslass 17 dient zur Abgabe der Abgabeluft UL', deren Kohlenstoffdioxidkonzentration geringer ist als die Kohlenstoffdioxidkonzentration der Umgebungsluft UL. Der Luftauslass 17 ist Teil eines Kamins 19.

Konkret ist die Sorbereinrichtung 15 zwischen dem Lufteinlass 14 und dem Luftauslass 17 angeordnet. Im Betrieb strömt die Umgebungsluft UL durch den Lufteinlass 14 zu der Sorbereinrichtung 15, die eine bestimmte Kohlenstoffdioxidmenge aus der Luft UL abtrennt, insbesondere filtert, wobei die gefilterte Abgabeluft UL' nach der Sorbereinrichtung 15 durch den Luftauslass 17 in die Außenatmosphäre strömt. Generell ist es möglich, dass mehrere Lufteinlässe 14, mehrere Sorbereinrichtungen 15 und mehrere Luftauslässe 17 vorgesehen sind.

Konkret ist in Fig. 1 ein einzelner Kamin 19 mit einer Höhe H von 200 Meter dargestellt, der exemplarisch den äußeren Aufbau der Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 zeigt. Der Luftauslass 17 mündet, wie in Fig. 1 dargestellt, ebenfalls wie der Sauerstoffauslass 16, in die Außenatmosphäre.

Die Anlage 10 umfasst des Weiteren eine nicht gezeigte Kohlenstoffdioxid-transporteinrichtung, die dazu ausgebildet ist, die aus der Umgebungsluft UL abgetrennte Kohlenstoffdioxidmenge einem Kohlenstoffdioxidspeicher und/oder der Methanolsyntheseeinheit 34 zur Weiterverarbeitung zur Verfügung zu stellen. Der Kohlenstoffdioxidspeicher dient dazu, eine möglichst kontinuierliche Versorgung der Methanolsyntheseeinheit 34 mit Kohlenstoffdioxid sicherzustellen.

Die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 kann eine Extraktionsleistung einer Kohlenstoffdioxidmenge pro Jahr von mindestens 400000 Tonnen, insbesondere 600000 Tonnen aufweisen. Mit anderen Worten kann die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 dazu ausgelegt sein, eine Umgebungsluftmenge pro Jahr von mindestens 1500 Megatonnen zu verarbeiten. Konkret ist die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 vorzugsweise dazu angepasst, aus einer Umgebungsluftmenge von mindestens 3300 kg eine Kohlenstoffdioxidmenge von mindestens 1,4 kg zu extrahieren.

Wie in Fig. 1 gezeigt ist, weist die Anlage 10 einen flächigen Anlagenbereich 23 auf. Der flächige Anlagenbereich 23 schließt an die Elektrolyseeinheit 11 direkt an. Auf dem flächigen Anlagenbereich 23 ist eine Stromerzeugungseinheit 31 angeordnet, die eine Photovoltaikeinheit 24 ist. Die Photovoltaikeinheit 24 ist mit
5 den jeweiligen Einheiten der Anlage 10 zur Stromversorgung verbunden. Die Photovoltaikeinheit 24 ist derart angepasst, dass die gesamte Anlage 10 energieautark betrieben werden kann. Darunter ist zu verstehen, dass der elektrische Strom zum Betrieb der gesamten Anlage 10 ausschließlich durch Sonnenenergie mittels der Photovoltaikeinheit 24 bereitgestellt werden kann. Mit
10 anderen Worten werden für den Betrieb der Anlage 10 vorzugsweise keine fossilen Energiequellen verwendet.

Der flächige Anlagenbereich 23 kann eine Längserstreckung 32 von zirka 5000 Meter und eine Quererstreckung 33 von zirka 2000 Meter aufweisen. Mit anderen Worten ist der flächige Anlagenbereich der Anlage 10 vorzugsweise auf einer
15 Fläche von 10 Quadratkilometer ausgebildet. Der in Fig. 1 gezeigte Anlagenbereich beinhaltend die Elektrolyseeinheit 11 kann eine Teillängserstreckung 29 von zirka zwei Kilometer aufweisen. Andere Teillängs-, Längs- und Quererstreckungen 29, 32, 33 sind möglich.

Die vorstehend beschriebene Meerwasserentsalzungseinheit 27 ist mit einer
20 Wasserrückführleitung 28 verbunden, durch die eine rückzuführende Meerwassermenge M'_{H_2O} mit erhöhtem Salzgehalt in das Meer zurückgeführt wird. Konkret wird aus der entnommenen Meerwassermenge ein bestimmter Salzgehalt extrahiert und anschließend mit einem Teil der entnommenen Meerwassermenge als rückzuführende Wassermenge M'_{H_2O} wieder in das Meer zurückgeführt.
25 Dadurch ist ein Wasserkreislauf bereitgestellt, der für die Natur unschädlich ist.

Der bevorzugte Aufstellungsort der Anlage 10 ist in Küstennähe eines Meeres. Besonders bevorzugt ist die Anlage 10 in einer Wüste aufgebaut. Eine Methanolabgabeleitung 35 kann die Anlage 10 mit einer Methanolabgabestelle, beispielsweise in einem Hafen, verbinden.

30 Die Anlage 10 gemäß Fig. 1 ist ein Großkraftwerk. Die Anlage 10 kann wenigstens einen Montagebereich 18 aufweisen, der mit einem Fundament eines Gebäudes und/oder eines Bauwerks verbunden ist. Generell ist es möglich, dass die

Elektrolyseeinheit 11 und/oder die Kohlendioxid-Sorptionseinheit 12 in einem gemeinsamen Gebäude oder in separaten Gebäuden angeordnet sind.

Die Stromversorgungseinheit 31 weist bevorzugt einen nicht dargestellten Stromspeicher auf, der zur Stromversorgung der Anlage 10 im Nachtbetrieb
5 angepasst ist.

Fig. 2 zeigt im Unterschied zu Fig. 1 eine Anlage 10, bei der die einzelne Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 durch mehrere Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheiten 12 ersetzt ist. Die jeweilige Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 gemäß Fig. 2 weist einen Kamin 19 und einen quer zum Kamin 19
10 verlaufenden Strömungskanal 21 auf. Dies ist beispielsweise in Fig. 4 gut erkennbar. Der Strömungskanal 21 ist mit dem Kamin 19 an einem in Einbaulage unten angeordneten Bereich des Kamins mit diesem verbunden. Zwischen dem Strömungskanal 21 und dem Kamin 19 ist eine Sorbereinrichtung 15 angeordnet, die dazu ausgebildet ist, eine Kohlenstoffdioxidmenge aus der Umgebungsluft UL
15 zu extrahieren. Die Sorbereinrichtung 15 ist durch einen Amintauscher gebildet. Andere Typen von Sorbereinrichtungen sind möglich.

Wie die Figuren 2, 3 zeigen, sind die Kamine 19 entlang der Längserstreckung 32 des flächigen Anlagebereichs 23 angeordnet. Der flächige Anlagebereich 23 weist eine in Einbaulage oben angeordnete Fläche 22 auf. Die oben angeordnete Fläche
20 22 ist zumindest abschnittsweise dunkelfarbig ausgebildet, um Sonnenergie zu sorbieren. Die Strömungskanäle 21 sind in Einbaulage unterhalb der oben angeordneten Fläche 22 angeordnet. Zum Zuführen von Umgebungsluft UL in die Strömungskanäle 21 sind in der oben angeordneten Fläche 22 mehrere Lufteinlässe 14 ausgebildet. Die Lufteinlässe 14 bilden Durchgangsöffnungen
25 durch die oben angeordnete Fläche 22. Diese sind in Fig. 3 der besseren Darstellung halber lediglich am ersten Strömungskanal 21 gezeigt. Ebenfalls ist die Anzahl der Lufteinlässe 14 variabel.

Im Betrieb strömt Umgebungsluft durch die Lufteinlässe 14 in den Strömungskanal 21 und anschließend durch die Sorbereinrichtung 15. Nach der
30 Sorbereinrichtung 15 strömt die Abgabeluft UL' mit reduzierter Kohlenstoffdioxidkonzentration in den Kamin 19 und durch den Luftauslass 17 in die Außenatmosphäre. Durch die dunkelfarbige oben angeordnete Fläche 22 erwärmt sich im Betrieb die unterhalb der Oberfläche 22 im Strömungskanal 21

befindliche Umgebungsluft. Die Temperatur der Umgebungsluft UL im Strömungskanal 21 beträgt vorzugsweise ca. 60 °C. Bei einer Außentemperatur der Umgebungsluft UL von ca. 40 °C wird durch die Anordnung des Kamins mit dem Strömungskanal 21 sowie der dunkelfarbigten Oberfläche 22 eine natürliche
5 Ventilation erzeugt. Mit anderen Worten ist für die Zuführung der Umgebungsluft UL in den Strömungskanal 21 sowie für die Durchströmung der Sorbereinrichtung 15 und die Ausströmung der gereinigten Umgebungsluft UL' aus dem Kamin 19 kein Ventilator beziehungsweise Gebläse notwendig.

Fig. 3 zeigt eine Draufsicht auf den flächigen Anlagenbereich 23 der Anlage 10
10 gemäß Fig. 2. Die entlang der Längserstreckung 32 dargestellte Nummerierung von 1 bis 40 stellt die Anzahl der an der Längserstreckung 32 angeordneten Kamine 19 dar. Die quer zur Längserstreckung 32 verlaufenden Linien zeigen schematische Abtrennungen zwischen den einzelnen Strömungskanälen 21. Die einzelnen Strömungskanäle 21 sind jeweils einem Kamin 19 zugeordnet. Dabei ist
15 jeweils eine Sorbereinrichtung 15 zwischen dem Strömungskanal 21 und dem Kamin 19 angeordnet. Die Längserstreckung 32 des flächigen Anlagenbereichs 23 beträgt zirka 5000 Meter und die Quererstreckung 33 des flächigen Anlagenbereichs 23 zirka 2000 Meter. Insgesamt sind in dem flächigen Anlagenbereich 23 vierzig Kamine 19 mit insgesamt vierzig Strömungskanälen 21
20 vorgesehen. Diese haben eine gemeinsame Abgabeleistung von Abgabeluft UL' von mindestens 1800 Megatonnen pro Jahr.

Um dies zu erreichen, weisen die Kamine 19 einen Durchmesser D auf, der 25 Meter beträgt. Der Durchmesser D bezieht sich auf jenen Bereich des Kamins 19, in dem der Luftauslass 17 ausgebildet ist. Der Luftauslass 17 ist an einem freien
25 Ende des Kamins 19 ausgebildet. Ferner weist der jeweilige Kamin 19 eine Höhe H von 100 Meter auf. Dadurch ist eine optimale Form für die Kaminwirkung zur natürlichen Ventilation ausgebildet. Andere Abmessungen der Kamine 19 sind möglich.

Des Weiteren können mehr oder weniger als vierzig Kamine 19 mit jeweils
30 zugehörigem Strömungskanal 21 im flächigen Anlagenbereich 23 angeordnet sein.

Der flächige Anlagebereich 23 ist, wie in Fig. 4 zu sehen ist, an der oben angeordneten Fläche 22 mit einer Photovoltaikeinheit 24 versehen. Mit anderen Worten ist auf der oben angeordneten Fläche 22 des flächigen Anlagenbereichs

23 eine Photovoltaikeinheit 24 angeordnet. Die Photovoltaikeinheit 24 weist bevorzugt eine Leistung von 1,5 Gigawatt pro Jahr auf. Bei der Anlage 10 gemäß Fig. 2 bilden somit die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 und die Photovoltaikeinheit 24 räumlich eine gemeinsame Einheit. Die Photovoltaikeinheit 5 24 bildet eine Stromversorgungseinheit 31 zum energieautarken Betreiben der gesamten Anlage 10.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die vorstehend beschriebenen Anlagen 10 gemäß den Fig. 1 und 2 bis auf die beschriebenen Unterschiede identisch sind.

Das mit der Anlage 10 gemäß Fig. 1 oder Fig. 2 durchführbare Verfahren wird 10 anhand des Flussdiagramms gemäß Fig. 5 erläutert:

Zur Herstellung einer Menge von 1 kg Methanol wird der Anlage 10 eine Menge von ca. 2 kg Meerwasser zugeführt und in der Meerwasserentsalzungseinheit 27 entsalzt. Dabei werden ca. 1,13 kg entsalztes Wasser erzeugt. Das Restsalzwasser (ca. 0,87 kg) wird durch die Wasserrückführleitung 28 ins Meer 15 zurückgeführt. In der Elektrolyseeinheit wird das entsalzte Wasser und ggf. weitere Wassermengen, die bei späteren Prozessschritten anfallen, in Wasserstoff (ca. 0,19 kg) und Sauerstoff (ca. 1,5 kg) aufgespaltet. Die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 nimmt durch den Lufteinlass 14 eine Luftmenge von ca. 3371,75 kg auf und extrahiert daraus eine Menge von ca. 1,38 kg 20 Kohlenstoffdioxid. Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid werden der Methanolsyntheseeinheit zugeführt und dort zu 1 kg Methanol verarbeitet. Die bei der Synthese entstehende überschüssige Wärme wird der Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit 12 zugeführt. Bei der Synthese entsteht ferner Wasser in einer Menge von ca. 0,56 kg, die der Elektrolyseeinheit zugeführt werden. Für diese 25 Prozessschritte werden von der Photovoltaikanlage ca. 51 kWh Sonnenenergie in ca. 12.83 kWh nutzbare Stromenergie umgewandelt.

In Fig. 6 ist ein Stromaggregat 120 für ein erfindungsgemäßes Wasserfahrzeug gezeigt. Das Stromaggregat 120 umfasst einen Zweizylinder-Hubkolbenmotor 121 mit einer ersten Zylinderkolbeneinheit 122 und einer zweiten 30 Zylinderkolbeneinheit 123. Jede der Zylinderkolbeneinheiten 122, 123 umfasst einen Kolben 124, der in einem Zylinder 125 geführt ist. Der Kolben 124 ist mit einer Pleuelstange 126 gekoppelt, die den Kolben 124 mit einer Pleuelwelle 127 verbindet. Die Pleuelwellen 127 sind parallel zueinander ausgerichtet und tragen

jeweils Stirnräder 127a, die eine Außenverzahnung aufweisen. Die außenverzahnten Stirnräder 127a greifen ineinander, so dass sich die Stirnräder 127a gegenläufig drehen.

Jedes Stirnrad 127a ist über einen Zahnriemen 128 mit einem Generator 130 gekoppelt. Insgesamt sind zwei Generatoren 130 vorgesehen. Die Generatoren 130 umfassen außerdem Ausgleichsgewichte 130a, die einen Ausgleich der Massenkräfte und der Massenmomente bewirken.

Das Stromaggregat 120 umfasst ferner einen Nockenriemen 131, der eine der Kurbelwellen 127 mit Nockenwellen 132 verbindet. Jeder Zylinderkolbeneinheit 122, 123 ist jeweils eine Nockenwelle 132 zugeordnet. Die Nockenwellen 132 wirken jeweils auf Ventile 133, wobei jede Zylinderkolbeneinheit vorzugsweise jeweils vier Ventile 133 aufweist.

Ferner ist eine Ölwanne 134 vorgesehen, in welcher eine Ölpumpe 135 angeordnet ist. Die Ölpumpe 135 wird über einen Ölpumpenriemen 136 angetrieben, der die Ölpumpe 135 mit einer der Kurbelwellen 127 verbindet. Vorzugsweise ist die Ölpumpe 135 mit einer anderen Kurbelwelle 127 verbunden als die Nockenwellen 132. An der Ölwanne 134 ist darüber hinaus ein Ölfilter 137 angeordnet.

Wie in Fig. 6 gut erkennbar ist, ist das Stromaggregat 120 besonders kompakt aufgebaut. Es kommt mit relativ wenigen Teilen aus und ist insofern wartungsfreundlich und weist ein geringes Gewicht auf. Der Zweizylinder-Hubkolbenmotor ist besonders lärm- und vibrationsarm. Zusätzlich kann der Zweizylinder-Hubkolbenmotor in einem Gehäuse gekapselt sein, wobei das Gehäuse zusätzlich zur Lärm- und Vibrationsarmut beitragen kann. Das Antriebssystem eines Wasserfahrzeugs kann mehrere Stromaggregate 120 aufweisen, die zur Erzeugung von Strom zusammenwirken und Antriebsbatterien speisen.

In Fig. 6 ist außerdem erkennbar, dass die Zylinder 125 der Zylinderkolbeneinheiten 122, 123 zueinander verschränkt angeordnet sind. Insbesondere weisen die Mittelachsen der Zylinder 125 einen kleineren Abstand als die Mittelachsen der Kurbelwellen 127 zueinander auf. Dadurch stehen die Pleuelstangen 126 beim oberen Totpunkt der Kolben 124, wie es in Fig. 6 gezeigt

ist, leicht schräg zueinander geneigt. Damit werden beim Anlauf des Motors die Vibrationen massiv reduziert. Insbesondere beim Start des Stromaggregats 120 werden auf diese Weise Anlauf-Massenmomente reduziert, so dass es nicht zu den sonst bekannten Anlauf-Vibrationen kommt.

- 5 Für den Antrieb eines Wasserfahrzeugs wird das Stromaggregat 120 vorzugsweise betrieben und stellt über die Generatoren 130 die elektrische Energie bereit, die für den Fahrbetrieb erforderlich ist, um die Elektromotoren zu nutzen. Dabei ist als elektrisches System vorzugsweise ein 48 Volt-, 400 Volt- oder 800 Volt-System integriert. Die Antriebsbatterien sind vorzugsweise so dimensioniert, dass das
- 10 Wasserfahrzeug zwischen 10 km und 120 km, insbesondere zwischen 20 km und 100 km, insbesondere zwischen 25 km und 60 km, ausschließlich elektrisch, d.h. ohne Betrieb des Stromaggregats fahren kann.

- Vorzugsweise wird das Stromaggregat 120 durch das regenerativ hergestellte Methanol betrieben. Dazu ist ein entsprechender Tank vorgesehen, der
- 15 regenerativ hergestelltes Methanol aufnimmt bzw. damit gefüllt ist. Auf diese Weise ist ein besonders wirtschaftlicher und zeitgleich klimafreundlicher Betrieb des Wasserfahrzeugs möglich.

- Die Erfindung bietet, wie anhand der vorstehenden Ausführungsbeispiele erläutert, eine technisch machbare und wirtschaftliche Lösung für das akute
- 20 Klimaproblem, die auf Grund der Skalierbarkeit der beschriebenen Anlagen in einem angemessenen zeitlichen Rahmen umgesetzt werden kann. Die Erfindung berücksichtigt die geografischen Chancen, die bestimmte Regionen dieser Erde bieten und besticht durch Ihre Einfachheit.

Bezugszeichenliste

	10	Anlage
	11	Elektrolyseeinheit
	12	Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit
5	13	Wasserzuführleitung
	14	Lufteinlass
	15	Sorbereinrichtung
	16	Sauerstoffauslass
	17	Luftauslass
10	18	Montagebereich
	19	Kamin
	21	Strömungskanal
	22	oben angeordnete Fläche
	23	flächiger Anlagenbereich
15	24	Photovoltaikeinheit
	25	Pumpeneinheit
	26	Wasserreservoir
	27	Meerwasserentsalzungseinheit
	28	Wasserrückführleitung
20	29	Teillängserstreckung
	31	Stromerzeugungseinheit
	32	Längserstreckung
	33	Quererstreckung
	34	Methanolsyntheseinheit
25	35	Methanolabgabelitung
	120	Stromaggregat
	121	Zweizylinder-Hubkolbenmotor
	122	erste Zylinder-Kolbeneinheit
	123	zweite Zylinder-Kolbeneinheit
30	124	Kolben
	125	Zylinder
	126	Pleuelstange
	127	Kurbelwelle
	127a	Stirnrad
35	128	Zahnriemen
	130	Generator

- 130a Ausgleichsgewicht
- 131 Nockenriemen
- 132 Nockenwelle
- 133 Ventil
- 5 134 Ölwanne
- 135 Ölpumpe
- 136 Ölpumpenriemen
- 137 Ölfilter

- 10 UL Umgebungsluft mit erhöhter Kohlenstoffdioxidkonzentration
- UL' Abgabeluft mit gesenkter Kohlenstoffdioxidkonzentration
- D Durchmesser
- H Höhe
- M_{H2O} entnommene Wassermenge
- 15 M'_{H2O} rückgeführte Wassermenge
- M_{O2} Sauerstoffteilmenge

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben einer Verbrennungskraftmaschine eines Wasserfahrzeugs, insbesondere auf Binnengewässern, bei dem
 - in einer Elektrolyseeinheit (11) zur Herstellung von Wasserstoff Wasser
 - 5 in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird,
 - eine Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit (12) aus der Umgebungsluft Kohlenstoffdioxid extrahiert,
 - einer Methanolsyntheseinheit (34) zur Herstellung von Methanol der Wasserstoff und das Kohlenstoffdioxid zugeführt und darin zu Methanol
 - 10 synthetisiert werden,
 - eine Photovoltaikeinheit (24) Sonnenenergie aufnimmt und in elektrische Energie umwandelt,wobei die Elektrolyseeinheit (11), die Kohlenstoffdioxid-Sorptionseinheit (12) und die Methanolsyntheseinheit (34) durch die in der
- 15 Photovoltaikeinheit (24) erzeugte elektrische Energie betrieben werden, wobei das hergestellte Methanol mittels eines Verteilsystems zu wenigstens einem Tank des Wasserfahrzeugs transportiert und von dem Tank bedarfsweise der Verbrennungskraftmaschine zugeführt und darin zur Erzeugung mechanischer Energie verbrannt wird.
- 20
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Verbrennungskraftmaschine Teil eines Stromaggregats (120) eines
hybridelektrisch angetriebenen Wasserfahrzeugs ist, wobei im
- 25 Stromaggregat (120) die mechanische Energie der
Verbrennungskraftmaschine in elektrische Antriebsenergie für den Vortrieb
des Wasserfahrzeugs umgewandelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
30 dadurch gekennzeichnet, dass
das Wasser in einer Meerwasserentsalzungseinheit (27) entsalzt und
anschließend der Elektrolyseeinheit (11) zugeführt wird, wobei die
Meerwasserentsalzungseinheit (27) hauptsächlich, insbesondere vollständig,
durch die in der Photovoltaikeinheit (24) erzeugte elektrische Energie
- 35 betrieben wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Verbrennungsmaschine ein Hubkolbenmotor (121) ist, der mit einem
Kompressionsverhältnis von mindestens 14:1, insbesondere mindestens
5 16:1, insbesondere mindestens 18:1, insbesondere mindestens 20:1,
betrieben wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 ein Teil des Methanols in einer Spalteinheit in ein Synthesegas, das
Wasserstoff und Kohlenmonoxid umfasst oder daraus besteht, aufgespalten
und das Synthesegas alleine oder zusammen mit dem Methanol in den
Hubkolbenmotor geleitet wird, wobei die Spalteinheit im Wasserfahrzeug,
insbesondere zwischen einem Tank und dem Hubkolbenmotor, angeordnet
15 ist.
6. Verwendung von Methanol als Kraftstoff in einer
Verbrennungskraftmaschine, insbesondere einem Stromaggregat (120),
eines, insbesondere hybridelektrisch angetriebenen, Wasserfahrzeugs, wobei
20 das Methanol in einem Verfahren gemäß einem der vorhergehenden
Ansprüche hergestellt wird.
7. Verwendung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
25 das Wasser in einer Meerwasserentsalzungseinheit (27) entsalzt und
anschließend der Elektrolyseeinheit (11) zugeführt wird, wobei die
Meerwasserentsalzungseinheit (27) hauptsächlich, insbesondere vollständig,
durch die in der Photovoltaikeinheit (24) erzeugte elektrische Energie
betrieben wird.
30
8. Wasserfahrzeug, insbesondere hybridelektrisch angetriebenes
Wasserfahrzeug, mit einem Antriebssystem, wobei das Antriebssystem ein
Stromaggregat (120), wenigstens eine Antriebsbatterie und wenigstens
einen Elektromotor aufweist, der elektrische Energie aus der
35 Antriebsbatterie bezieht, wobei das Stromaggregat einen Zweizylinder-
Hubkolbenmotor (121) mit zwei Zylinder-Kolbeneinheiten (122, 123) in
Tandemanordnung und wenigstens einen Generator (130) zur Erzeugung

- elektrischer Energie umfasst, wobei jede Zylinder-Kolbeneinheit (122, 123) eine Kurbelwelle (127) aufweist und die Kurbelwellen (127) beider Zylinder-Kolbeneinheiten (122, 123) miteinander mechanisch gekoppelt sind, und wobei wenigstens eine Kurbelwelle (127), insbesondere beide Kurbelwellen (127) jeweils, mechanisch mit dem wenigstens einen Generator (130) verbunden ist.
- 5
9. Wasserfahrzeug nach Anspruch 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
10 der Elektromotor über ein Getriebe oder direkt auf eine Antriebswelle eines Propellers wirkt.
10. Wasserfahrzeug nach Anspruch 8 oder 9,
g e k e n n z e i c h n e t durch
15 einen Tank, der mit dem Zweizylinder-Hubkolbenmotor (121) fluidverbunden und zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, mit regenerativ hergestelltem Methanol befüllt ist.
11. Verfahren zum Betreiben eines Wasserfahrzeugs nach einem der Ansprüche
20 8 bis 10, wobei der Zweizylinder-Hubkolbenmotor (121) mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 betrieben wird.