(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 112 777 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
04.01.2023 Patentblatt 2023/01

(21) Anmeldenummer: **21182686.2**

(22) Anmeldetag: **30.06.2021**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C25B 1/04 *(2021.01)* ***C25B 9/73*** *(2021.01)*
C25B 15/021 *(2021.01)*

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C25B 15/021; C25B 1/04; C25B 9/73

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

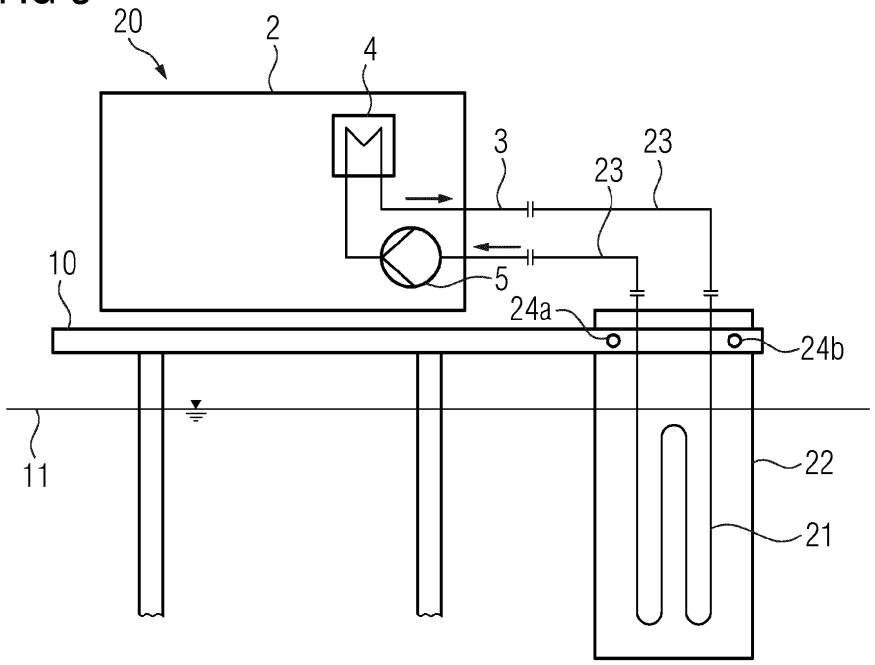
(71) Anmelder: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**
81739 München (DE)

(72) Erfinder:
- **Hanebuth, Marc**
  90482 Nürnberg (DE)
- **Suermann, Michel**
  91054 Erlangen (DE)
- **Taroata, Dan**
  91058 Erlangen (DE)

(54) OFFSHORE-ELEKTROLYSEANLAGE SOWIE VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER OFFSHORE-ELEKTROLYSEANLAGE

(57) Die Erfindung betrifft eine Offshore-Elektrolyseanlage (20) umfassend einen in einem Container (2) angeordneten Elektrolyseur sowie einen Wärmeübertrager (4), welcher für die Wärmeaufnahme und Ableitung von Prozesswärme aus der Elektrolyse in einen geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) aus dem Container (2) ausgelegt ist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Betrieb einer Offshore-Elektrolyseanlage (10) mit einem in einem Container (2) angeordneten Elektrolyseur, bei dem für die Wärmeaufnahme und Ableitung von Prozesswärme aus der Elektrolyse aus dem Container (2) Kühlmittel in einem geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) geführt wird.

FIG 3



EP 4 112 777 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Offshore-Elektrolyseanlage sowie ein Verfahren zum Betrieb einer Offshore-Elektrolyseanlage.

[0002] Eine Elektrolyseanlage ist eine Vorrichtung, die mit Hilfe von elektrischem Strom eine Stoffumwandlung herbeiführt (Elektrolyse). Entsprechend der Vielfalt an unterschiedlichen elektrochemischen Elektrolyseprozessen gibt es auch eine Vielzahl von Elektrolyseanlagen, wie beispielsweise eine Elektrolyseanlage für eine Wasserelektrolyse.

[0003] Wasserstoff wird heutzutage beispielsweise mittels Proton Exchange Membrane (PEM)-Elektrolyse oder alkalischer Elektrolyse aus Wasser erzeugt. Die Elektrolyseanlagen produzieren mit Hilfe elektrischer Energie Wasserstoff und Sauerstoff aus dem zugeführten Wasser. Dieser Prozess findet in einem Elektrolysestack, zusammengesetzt aus mehreren Elektrolysezellen, statt. In dem unter DC Spannung stehenden Elektrolysestack wird als Edukt Wasser eingebracht, wobei nach dem Durchlauf durch die Elektrolysezellen zwei Fluidströme, bestehend aus Wasser und Gasblasen (O_2 bzw. H_2) austreten.

[0004] Aktuelle Überlegungen gehen dahin, mit überschüssiger Energie aus erneuerbaren Energiequellen in Zeiten mit viel Sonne und viel Wind, also mit überdurchschnittlicher Solarstrom- oder Windkrafterzeugung, Wertstoffe zu erzeugen. Ein Wertstoff kann insbesondere Wasserstoff sein, welcher durch Wasser-Elektrolyseanlagen erzeugt wird. Mittels Wasserstoff kann beispielsweise sogenanntes EE-Gas hergestellt werden.
Ein EE-Gas ist ein brennbares Gas, welches mit Hilfe elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird.

[0005] Wasserstoff stellt dabei einen besonders umweltffreundlichen und nachhaltigen Energieträger dar. Er hat das einzigartige Potential Energiesysteme, Verkehr und große Teile der Chemie ohne CO_2-Emissionen zu realisieren. Damit dies gelingt, darf der Wasserstoff allerdings nicht aus fossilen Quellen stammen, sondern muss mit Hilfe von erneuerbaren Energie produziert werden.

[0006] Eine Quelle für erneuerbare Energien ist die Windkraft. Insbesondere mit küstennahen, sogenannten Offshore-Windkraftanlagen lassen sich große elektrische Leistungen realisieren. Herausforderend ist allerdings, dass eine große Distanz zu den Verbrauchern zu überwinden ist. Die Energie sollte also möglichst verlustfrei zum Verbraucher transportiert werden. Als Transportmedium eignet sich sehr gut Wasserstoff. Dieser kann zum Beispiel durch Pipelines in gasförmiger Form transportiert werden. Ein positiver Nebenaspekt hierbei ist, dass eine Wasserstoff-führende Pipeline gleichzeitig die Funktion eines Energiespeichers erfüllen kann, da der innere Druck in gewisssen Grenzen variiert werden kann. Aus dieser Überlegung heraus ist es von besonderem Interesse, den Wasserstoff direkt am Ort der Energiegewinnung zu produzieren, also Elektrolyseanlagen Offshore direkt an Offshore-Windkraftanlagen oder in deren unmittelbarer Nähe zu platzieren.

[0007] Bei Offshore-Elektrolyseanlagen muss ein besonderes Augenmerk auf die Vermeidung von Korrosion gelegt werden, denn durch das Vorhandensein von Salzwasser können signifikant höhere Korrosionsraten auftreten, was einen längeren unterbrechungsfreien Betrieb einer Elektrolyseanlage gefährdet. Prinzipiell kann man Offshore-Elektrolyseanlagen mit Elektrolyseuren ausstatten, und diese innerhalb von geschlossenen Gehäusen, den Containern, unterbringen. Dadurch kann ein gewisser Schutz vor den äußeren Umwelteinflüssen für den Elektrolyseur erzielt werden. Allerdings muss betriebsbedingt der Elektrolyseur gekühlt werden, um die entstehende Abwärme aus dem Elektrolyseprozess an die Umgebung abzuführen. Diese Kühlungsanforderung im Betrieb bei Offshore-Elektrolyseanlagen ist durch die geschlossene Containerbauweise von ganz besonderer Bedeutung, um Überhitzung und Versagen zu vermeiden. Somit ist bei einer Offshore-Elektrolyseanlage eine Schnittstelle zwischen Elektrolyseur und der Umgebung letztendlich unvermeidbar, um den Wärmestrom der Prozesswärme geeignet abzuführen und einen sicheren Betrieb zu ermöglichen. Dabei sind zugleich Umweltgesichtspunkte im maritimen Bereich beachtlich, insbesondere regulatorische Vorgaben zum Schutz der maritimen Fauna und Flora.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Offshore-Elektrolyseanlage anzugeben, die einen sicheren und zugleich umweltverträglichen Betrieb ermöglicht. Eine weitere Aufgabe ist es, ein Verfahren zum Betrieb einer Offshore-Elektrolyseanlage anzugeben.

[0009] Die auf eine Offshore-Elektrolyseanlage gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Offshore-Elektrolyseanlage umfassend einen in einem Container angeordneten Elektrolyseur sowie einen Wärmeübertrager, welcher für die Wärmeaufnahme und Ableitung von Prozesswärme aus der Elektrolyse in einen geschlossenen Kühlmittelkreislauf aus dem Container ausgelegt ist.

[0010] Die auf ein Verfahren zum Betrieb einer Offshore-Elektrolyseanlage gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Betrieb einer Offshore-Elektrolyseanlage mit einem in einem Container angeordneten Elektrolyseur, bei dem für die Wärmeaufnahme und Ableitung von Prozesswärme aus der Elektrolyse aus dem Container Kühlmittel in einem geschlossenen Kühlmittelkreislauf geführt wird.

[0011] Die in Bezug auf die Offshore-Elektrolyseanlage nachstehend angeführten Vorteile und bevorzugten Ausgestaltungen lassen sich sinngemäß auf das Verfahren zum Betrieb der Elektrolyseanlage übertragen.

[0012] Die Erfindung geht hierbei bereits von der Erkenntnis aus, dass die in verstärktem Maße installierten leistungsstärkeren Offshore-Windenergieanlagen und deren wachsende elektrische Erzeugungsleistung ent-

sprechend leistungsfähigere Elektrolyseanlagen erfordern. Es wird daher erwartet, dass die Leistungsklasse einer Offshore-Elektrolyseanlage und deren Anzahl entsprechend zukünftig stark ansteigen wird. Damit einhergehende, steigende Anforderungen an den sicheren und umweltverträglichen Betrieb in der maritimen Umgebung sind zu berücksichtigen. Durch die Skalierungsbemühungen hin zu größeren Offshore-Elektrolyseanlagen rückt die Frage der Umweltverträglichkeit in den Fokus der Diskussion. Hierbei ist ein unter Umweltgesichtspunkten möglichst eingriffsarmer Betrieb zu gewährleisten. Die Lösung der Kühlungsaufgabe für den Betrieb ist daher von besonderer Bedeutung bei gleichzeitiger Betriebssicherheit und Leistungsfähigkeit der Offshore-Elektrolyseanlage.

[0013] Die Offshore-Elektrolyseanlage gemäß der Erfindung erkennt und überwindet hier erstmals die Nachteile herkömmlicher offener Kühlungsansätze für das Kühlmedium. Beispielsweise ein Konzept, demzufolge das Meerwasser unmittelbar als Kühlungsmedium für einen Wärmetauscher aus dem Meer herausgepumpt und entnommen wird, und nach der Beaufschlagung mit der Prozesswärme der Offshore-Elektrolyseanlage und Wärmeübertragung auf das Meerwasser, dieses unmittelbar wieder ins Meer zurück geleitet wird. Dies erweist sich unter Umweltgesichtspunkten als sehr nachteilig und überdies wartungsintensiv.

[0014] Andere Konzepte der Kühlung mittels Umgebungsluft bedürfen großer Wärmeaustauschflächen mit der Atmosphäre und umfangreicher Ventilatorsysteme bzw. Gebläse zur Kühlluftzufuhr, um die erforderliche Kühlleistung zu erreichen. Solche Systeme im Offshore-Einsatz sind durch die unmittelbare Exposition mit salzhaltigen Aerosolen im maritimen Bereich sehr anfällig für Versagen durch Korrosion und erfordern einen erheblichen Wartungsaufwand.

[0015] Mit der Erfindung werden diese Nachteile überwunden und ein sicherer und umweltverträglicher Betrieb einer Offshore-Elektrolyseanlage in Containerbauweise mit einem in dem Container angeordneten Elektrolyseur, beispielsweise ein PEM-Elektrolyseur zur Wasserstofferzeugung, ermöglicht. Mit dem geschlossenen Kühlkreislauf ist die Wärmeaufnahme der Prozesswärme aus der Elektrolyse an der Anlage über den Wärmeübertrager erreicht. Sowohl eine Verwendung durch Ansaugen von Meerwasser und dessen Umwälzung zu Kühlungszwecken als auch die erhebliche Korrosionsproblematik bei der Luftkühlung beim offenen Kühlungsbetrieb auf See ist vermieden. Die Erfindung beschreitet hier einen anderen Weg als die herkömmlichen Offshore-Anlagen.

[0016] Insbesondere dadurch, dass kein Seewasser angesaugt wird und stattdessen ein geschlossener Kühlmittelkreislauf vorliegt, werden die oben geschilderten Probleme vermieden. Es können keine Fremdkörper angesaugt werden, im Inneren des Wärmeübertragers können sich keine unerwünschten anorganische Schichten oder Biofouling bilden, was die Betriebssicherheit erhöht. Insbesondere wird kein erwärmtes Wasser an die Umgebung abgeführt. Ein weiterer Vorteil ist, dass beispielsweise neben (Süß-)Wasser auch andere besonders geeignete Kühlmedien bzw. Additive im geschlossenen Kühlkreislauf eingesetzt werden können, die dann die benötigte Wärmeübertragungsleistung bzw. Auslegung der erforderlichen Oberflächen für die Wärmeaufnahme der Prozesswärme aus dem Container bei einem hohen Temperaturniveau, deren Ableitung und schließlich Übertragung an eine geeignete Wärmesenke deutlich reduzieren kann.

[0017] In vorteilhafter Ausgestaltung der Offshore-Elektrolyseanlage ist in dem Kühlmittelkreislauf eine Kühlmittelpumpe zur Förderung des Kühlmittels angeordnet. Die Kühlmittelpumpe ist entsprechend der Kühlungsleistung ausgelegt. Die Kühlmittelpumpe ist zum Schutz vor Witterungseinflüssen bevorzugt in dem Container untergebracht in der Nähe des zu kühlenden Elektrolyseurs der Offshore-Elektrolyseanlage. Prinzipiell ist aber auch eine Verschaltung der Kühlmittelpumpe außerhalb des Containers möglich.

[0018] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausgestaltung ist in dem geschlossenen Kühlmittelkreislauf für die Wärmeabgabe der durch das Kühlmittel aufgenommenen Prozesswärme ein großflächiger Wärmeübertrager vorgesehen, der in das Meer eintauchbar ist. Durch die Integration eines großflächigen Wärmeübertragers in den geschlossenen Kühlkreislauf ist eine besonders effektive Ankopplung an die gewählte Wärmesenke, das Meerwasser, erreicht und durch die Eintauchbarkeit ein Wärmeübertrag der abgeführten Prozesswärme von dem großflächigen Wärmeübertrager an das Meerwasser erreicht. Von besonderem Vorteil erweist sich hierbei der vom Meerwasser unabhängige Kühlmittelkreislauf mit dem Kühlmedium.

[0019] Die Erfindung sieht somit die Nutzung von Seewasser als Wärmesenke in nahezu großem Reservoir vor Kühlmedium vor, wobei mit einem geschlossenen Kühlkreislauf lediglich die Wärme durch den in das Meer eingetauchten Wärmeübertrager abgegeben wird. Hiermit sind große Kühlleistungen für die Elektrolyse realisierbar und große Wärmeströme aus leistungsstarken Offshore-Elektrolyseuren über das Kühlmittel an das Meerwasser übertragbar. Der Eingriff dieser Konstruktion unter Umweltgesichtspunkten ist gering, insbesondere da eine stoffliche Entkoppelung von Kühlmittel und Meerwasser vorgesehen ist. Für die Eintauchbarkeit des Wärmeübertragers in das Meerwasser sind geeignet konfektionierte Schwenkeinrichtungen und/oder Hebezeuge an der Offshore-Elektrolyseanlage vorgesehen, die entsprechende Bewegungen des Wärmeübertragers wie Eintauchen oder Herausheben ermöglichen.

[0020] Durch eine entsprechende wärmetechnische Auslegung kann vorteilhafterweise die im allgemeinen relativ große Austauschoberfläche für den großflächigen Wärmeübertrager auf die notwendige Kühlungsleistung hin dimensioniert und konstruktiv ausgeführt sein. Es ist gegenüber den offenen Kühlkonzepten nicht mehr nötig,

das Meerwasser über Pumpen zu entnehmen, aktiv an die Wasseroberfläche zu fördern und unmittelbar für die Kühlungsaufgabe der Offshore-Elektrolyseanlage zuzuführen. Stattdessen wird die Wärmeabfuhr lediglich mittelbar über den großflächigen Wärmeübertrager über Konvektion im Seewasser durchgeführt.

[0021] Vorteilhafterweise weist zur Bereitstellung einer großen Wärmeübertragungsfläche der großflächige Wärmeübertrager eine Rohrleitung auf, die an der kühlmittelführenden Rohraußenfläche mit Rippen und/oder Finnen ausgestaltet ist und/oder in einer Vielzahl von Rohrbögen geführt ist.

[0022] Diese kontruktive Maßnahmen mit einer Rohrleitung oder Rohrleitungsbündel werden ergriffen, um die Oberfläche für den effizienten Wärmeübertrag zu erhöhen. Hier kommen verschiedene Möglichkeiten in Betracht, wie beispielsweise dass der Wärmeübertrager als mäanderförmiges und/oder mit Finnen versehenes Rohr ausgeführt sein kann. Weiterhin kann, wie etwa bei einem Rohrbündel-Wärmeübertrager, der Volumenstrom des Kühlmittels auf mehrere parallele Rohrleitungen aufgeteilt werden, um so eine größere Wärmeaustauschfläche zu erhalten.

[0023] In vorteilhafter Ausgestaltung ist die Rohrleitung, insbesondere das Rohrleitungsbündel, aus Stahl vorzugsweise ein korrosionsfester Edelstahl ausgeführt. Weiter vorteilhaft weist hierzu die Rohrleitung, insbesondere das Rohrleitungsbündel, an der Außenfläche eine Korrosionsschutzschicht auf.

[0024] Grundsätzlich kann der im Meerwasser eintauchende großflächige Wärmeübertrager aus Stahl ausgeführt sein. Ähnlich wie bei Schiffen sollten hierbei aber vorzugsweise Maßnahmen ergriffen werden, die einer Korrosion entgegenwirken, wie zum Beispiel ein kathodischer Korrosionsschutz oder die Verwendung einer Opferanode. Einfache Schutzanstriche hingegen könnten den gewünschten Wärmeübertrag vermindern und sind somit eher nicht zu empfehlen, es sei denn der Schutzanstrich ist jedenfalls hinsichtlich des Einflusses auf den zu erzielenden Wärmeübertrag angepasst und geeignet. So können vorteilhafterweise hinreichend dünne Beschichtungen gegen das so genannte Fouling eingesetzt werden, die den Wärmeübergang nicht merklich behindern. Diese "Fouling" genannte Verschmutzung von Wärmetauschern und Wärmeübertragern und die daraus resultierende Reinigung stellen immer wieder eine Herausforderung für den Betrieb dar. Verantwortlich für die unterschiedlichen Ablagerungen sind Wasser mit hohem Salzgehalt, hohe Temperaturen und Verschmutzungen im Wasser. Sie behindern beides, sowohl die Heiz- als auch die Kühlleistung eines Wärmetauschers. Je fester und dicker die Ablagerungen werden, desto schlechter wird die Wärmeübertragung.

[0025] In besonders vorteilhafter Ausgestaltung weist die Korrosionsschutzschicht Titan auf. Sie kann auch aus Titan ausgeführt sein. Auch ist es in bevorzugter Ausgestaltung möglich, für den großflächigen Wärmeübertrager insgesamt Rohrleitungen aus Titan zu verwenden.

[0026] Bei der Verwendung von Titan als Material für den großflächigen Wärmeübertrager kann auf solche zusätzlichen Korrosionsschutzschichten oder Anti-Fouling Anstriche verzichtet werden und diese Art der Ausgestaltung ist daher besonders vorteilhaft. Titan zeigt eine sehr gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber Seewasser. Bei der Verwendung von Titanrohren ist es bevorzugt einen elektrischen Kontakt zu Stahlkomponenten durch geeignete Isolatoren zur Trennung der Materialien zu vermeiden. Andernfalls bestünde das Potential, dass sich sogenannte Lokalelemente bilden, welche Korrosionserscheinungen hervorrufen können. Lokalelemente sind im allgemeinen kleinflächige Korrosionselemente (oder Kontaktelemente), die mit bloßem Auge kaum zu erkennen sind. Lokalelemente können an Berührungsstellen von zwei verschiedenen Metallen durch Einwirkung von Feuchtigkeit, zum Beispiel hervorgerufen durch Aerosole, entstehen und dort oft erhebliche Korrosion verursachen.

[0027] In vorteilhafter Ausgestaltung ist der großflächige Wärmeübertrager in einem Gestell angeordnet, das den Wärmeübertrager umfasst und den Wärmeübertrager für den jeweiligen Betriebszustand über Befestigungen in Position hält.

[0028] Die Unterbringung und Befestigung des Wärmeübertragers in einem Gestell vereinfacht das Eintauchen des Wärmeübertragers in das Meerwasser erheblich. Auch wird dessen Manipulation bzw. Handhabung für verschiedene Betriebszustände sehr erleichtert. Hierdurch ist ein modularer Aufbau realisiert mit einem Modul, umfassend den Wärmeübertrager und das Gestell als Baueinheit sowie Hilfsanbauten, wie etwa Anschlüsse oder Flanschverbindungen für die Rohrleitungen zum Anschluss an den Container der Offshore-Elektrolyseanlage.

[0029] Der in das Meerwasser eintauchbare Wärmeübertrager ist dabei in dem Gestell untergebracht, das vorzugsweise die Abmessungen eines Standard-Containers der Logistikbranche aufweist. So ist es besonders einfach möglich den Wärmetaucher zu transportieren und bei Bedarf nach einer bestimmten Betriebszeit auszutauschen, was für Wartungs- und Servicezwecke von Vorteil ist.

[0030] Vorzugsweise ist daher das Gestell mit dem großflächigen Wärmeübertrager derart befestigt, dass bedarfsweise ein Herausführen oder Herauskippen aus dem Meerwasser bewirkbar ist.

[0031] Vorzugsweise ist das Gestell mit dem großflächigen Wärmeübertrager über eine drehbare Befestigung herauskippbar.

[0032] Es ist besonders zweckmäßig und von Vorteil den in das Meerwasser eintauchenden großfächigen Wärmeübertrager derart konstruktiv auszuführen, dass er mit einfachen Mitteln, zum Beispiel mit Hilfe einer Seilwinde, aus dem Wasser "herausgeklappt" oder herausgekippt werden kann. Dies kann vorzugsweise durch eine drehbare oder dreh-/kippbare Befestigungseinrichtung an dem Gestell realisiert sein.

[0033] Die Möglichkeit, den großflächigen Wärmeübertrager aus dem Meerwasser herauszuklappen, ist eine besonders vorteilhafte konstruktive Weiterbildung, insbesondere speziell bei den Anforderungen im Offshore-Bereich für eine Offshore-Elektrolyseanlage. Es sind alternative Rohrführungen für den Wärmeübertrager denkbar, die ohne das Entfernen von Rohrstücken für das Herausklappen des Wärmeübertragers auskommen. So kann etwa über die drehbare Befestigung das Gestell umfassend den Wärmeübertrager gekippt werden. Mit einer entsprechenden Flanschverbindung jeweils für den Vorlauf und den Rücklauf, die exakt auf der entsprechenden Drehachse angebracht und ausgerichtet sind, braucht für ein Herausklappen lediglich nur der Flansch geöffnet und mit Blindscheiben versehen werden. Es ist auch im Sinne der Erfindung flexible Schläuche oder Faltenbalgsysteme oder Konbinationen aus diesen Leitungselementen als Verbindung zum Container mit dem Elektrolyseur verwendbar, um ein Hochklappen oder Herauskippen zu ermöglichen, ohne dass eine Rohrleitung gelöst, aufgetrennt oder verschlossen werden muss. Solche Schläuche können je nach Temperaturniveau des Kühlmittels im Vorlauf und im Rücklauf des Kühlmittelkreislaufs auch aus geeignetem Kunststoff gefertigt sein.

[0034] Die Offshore-Elektrolyseanlage ist in besonders vorteilhafter Ausgestaltung mit einer Anschlusseinheit zur Einspeisung von elektrischem Strom aus einer Offshore-Windturbine ausgeführt.

[0035] Dadurch kann bei einer Offshore-Windanlage überschüssiger Strom direkt auf See zur Wasserstoffproduktion genutzt werden, indem der Strom über die Anschlusseinheit der Offshore-Elektrolyseanlage zugeführt wird.

[0036] Besonders vorteilhaft ist diese Kombination von erneuerbaren Energien und Wasserstoffproduktion bei Offshore-Windparks und anderen in entlegenen Gebieten liegenden Windkraft-Anlagen. Denn bisher leidet der verstärkte Ausbau der erneuerbaren Energien auch an der fehlenden Netz-Infrastruktur. In Deutschland beispielsweise fehlen Stromtrassen, um den Windstrom vom Meer ins Inland und weiter nach Süddeutschland zu bringen. Hier kann eine Offshore-Elektrolyseanlage helfen. Mit ihr ließe sich der auf See generierte Strom künftig direkt vor Ort zur Spaltung von Meerwasser nutzen.

[0037] In bevorzugter Ausgestaltung ist daher die Offshore-Elektrolyseanlage gemäß der Erfindung auf einer Offshore-Plattform im Meer installiert. Als Basis für eine solche Windkraft-Elektrolyse könnten beispielsweise ausgediente Öl- oder Gasplattformen dienen, wie sie unter anderem in der Nordsee reichlich vorhanden sind. Der dort erzeugte Wasserstoff ließe sich dann bequem über die vorhandenen Erdgaspipelines zu Kraftwerken an Land leiten.

[0038] Bei dem Verfahren zum Betrieb einer Offshore-Elektrolyseanlage mit einem in einem Container angeordneten Elektrolyseur wird für die Wärmeaufnahme und Ableitung von Prozesswärme aus der Elektrolyse aus dem Container ein Kühlmittel in einem geschlossenen Kühlmittelkreislauf geführt.

[0039] Hierbei wird in besonders vorteilhafterweise Ausführung des Verfahrens in dem geschlossenen Kühlmittelkreislauf von dem durch die Prozesswärme erwärmten Kühlmittel, Wärme auf Meerwasser übertragen und das Kühlmittel dadurch abkühlt.

[0040] Vorzugsweise wird ein schädigendes Eindringen von Meerwasser in den Kühlmittelkreiskreislauf überwacht. Hierzu kann ein entsprechender Sensor zum Detektieren von Leckagen im Kühlmittelkreislauf zur Anwendung kommen und eingesetzt werden. Vorzugsweise wird eine Messung der elektrischen Leitfähigkeit durchgeführt unter Verwendung eines Leitfähigkeitssensors, der entsprechend sensitiv auf einen meerwasserbedingten Salzgehalt reagiert, so dass ein unerwünschtes Eindringen von Meerwasser angezeigt wird und entsprechende Gegenmaßnahmen getroffen werden können.

[0041] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierin zeigen schematisch und stark vereinfacht:

FIG 1 eine Elektrolyseanlage mit Luftkühlung;

FIG 2 eine Offshore-Elektrolyseanlage mit Verwendung von Meerwasser als Kühlmittel;

FIG 3 ein Ausführungsbeispiel einer Offshore-Elektrolyseanlage gemäß der Erfindung;

FIG 4 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Offshore-Elektrolyseanlage gemäß der Erfindung.

[0042] Gleiche Bezugszeichen habe in den Figuren die gleiche Bedeutung.

[0043] In Figur 1 ist eine Elektrolyseanlage (1a) dargestellt, bei der in einem Container (2) oder anderweitigem Gehäuse ein nicht näher gezeigter Elektrolyseur, beispielsweise ein PEM- oder Alkali-Elektrolyseur, angeordnet ist. Der Elektrolyseur ist für die Erzeugung von Wasserstoff als Produkt aus der Elektrolyse von Wasser als Edukt ausgelegt. Zur Kühlung und Wärmeabfuhr der Prozesswärme während des Betriebs des Elektrolyseurs weist die Elektrolyseanlage (1a) einen Luftkühler (6) auf. Ein Kühlmittelkreislauf (3) sorgt für die Umwälzung eines Kühlmittels, wobei ein zu kühlendes Medium durch einen Wärmeübertrager (4) mit entsprechend großen Wärmeaustauschoberflächen zur Atmosphäre geführt wird. Eine Kühlmittelpumpe (5) fördert das Kühlmittel. Für einen Einsatz der Elektrolyseanlage (1a) im Offshore-Bereich auf dem Meer, ist diese Konfiguration nachteilig und daher für die Offshore-Anwendung nicht zu empfehlen. Da durch Wind und Wetter das Meerwasser in Form von salzhaltigen Aerosolen verbreitet wird, wären die Wärmetauscher-Oberflächen und die dazugehörigen außen liegenden Ventilatoren der Elektrolyseanlage (1a) einem

sehr aggressiven Umfeld ausgesetzt. Hohe Korrosionsraten sind hier zu erwarten, was den sicheren Betrieb der Elektrolyseanlage (1a) beeinträchtigt und zu geringen Standzeiten bei hohem Wartungsaufwand bei einem Offshore-Betrieb führen würde.

[0044] In Figur 2 ist eine Offshore-Elektrolyseanlage (1b) dargestellt, bei der in einem Container (2) ein nicht näher gezeigter Elektrolyseur, beispielsweise ein PEM- oder Alkali-Elektrolyseur, angeordnet ist. Die Offshore-Elektrolyseanlage (1b) ist auf einer Tragstruktur (10), einer Offshore-Plattform angeordnet, die sich über dem Meeresspiegel (11) befindet und auf dem Meeresboden verankert ist. In dem Container (2) ist ein nicht näher dargestellter Elektrolyseur, eine Kühlmittelpumpe (5) und ein Wärmeübertrager (4) vorgesehen. Als Kühlmittel wird Meerwasser verwendet und zu Kühlungszwecken zu dem Wärmeübertrager (4) mittels der Kühlmittelpumpe (5) aus dem Meer hochgepumpt. Als Zufuhr für das Meerwasser ist ein Ansaugstutzen (12) unter Wasser in der zu dem Wärmeübertrager (4) hinführenden Saugleitung vorgesehen, in die die Kühlmittelpumpe (5) eingebaut ist. Letztere muss aufgrund der Höhendifferenz entsprechend leistungsfähig ausgestaltet sein. Soll die Kühlmittelpumpe (5), wie in Figur 2 gezeigt, innerhalb des Containers (2) angeordnet sein, kann bei einer zu großen Höhendifferenz sogar der Fall eintreten, dass der Dampfdruck des Meerwassers limitierend wirkt und Kavitation eintritt. In diesem Fall wäre es selbst mit den stärksten Pumpen nicht möglich das Meerwasser anzusaugen, was für einen effizienten Kühlbetrieb sehr nachteilig ist. Alternativ müsste die Pumpe näher an der Wasseroberfläche platziert sein, wo sie möglicherweise den Umwelteinflüssen stärken ausgesetzt und auch der Zugang für Wartung und Reparatur erschwert wäre. Zur Rückführung des Meerwassers nach der Wärmeaufnahme in dem Wärmeübertrager (4) ist stromabseitig von dem Wärmetauscher (5) die Rückführleitung (13) angeschlossen. Die Rückführleitung (13) taucht unter den Meeresspiegel (11) und führt das erwärmte Meerwasser wieder zurück. Hierdurch ist bei der Offshore-Elektrolyseanlage (1b) ein offenes Kühlkonzept realisiert, die auf Meerwasser als Kühlmittel zurückgreift und nicht nur unter Umweltaspekten im maritimen Bereich nachteilig ist, sondern auch hinsichtlich der Betriebssicherheit bzw. Standzeiten, was nachfolgend anhand einiger ausgewählter Aspekte erläutert wird:

[0045] Im Betrieb des Elektrolyseurs wird Meerwasser durch den unter dem Meeresspiegel 11 liegende Ansaugstutzen 12 mit Hilfe der leistungsfähigen Kühlmittelpume 5 angesaugt und durch den Wärmeübertrager (4) gefördert. Auf der Gegenseite des Wärmeübertragers (4) wird das zu entwärmende Medium des Elektrolyseurs geleitet (in Figur 2 nicht gezeigt), so dass die Wärme unmittelbar auf das Meerwasser als Kühlmittel übertragen wird. Das erwärmte Meerwasser wird wieder in das Meer über die Rückführleitung (13) durch eine Auslassöffnung zurückgeführt. Dieses Kühlkonzept bringt Nachteile mit sich. Um Blockaden oder Defekte an der Kühlmittelpumpe (5) zu vermeiden, muss sichergestellt werden, dass keine größeren Fremdkörper oder gar Meereslebewesen angesaugt werden. Dies kann mit aufwendigen Filtersystemen erfolgen, wobei sich diese mit der Zeit zusetzen können und deshalb regelmäßig gereinigt werden müssen. Dies ruft einen signifikanten Arbeitsaufwand, verbunden mit hohen Wartungs- und Instandhaltungskosten, hervor und bedingt häufige Arbeiten vor Ort. Weiterhin bilden sich selbst mit feinsten Filtern störende Schichten "Scaling" im Inneren der Kühlmittel führenden Leitungen und des Wärmeübertragers (4) aus. Diese Schichten können sogenanntes Biofouling sein, wobei sich aber auch anorganische Schichten bilden. Anorganische Ablagerungen treten insbesondere wegen einer ungünstigen Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit von Calcit auf. Calcit bildet sich bevorzugt an wärmeren Stellen, also im Inneren des Wärmeübertragers (4), wo solche Schichten besonders störend sind und eine Reinigung wegen der schlechten Zugänglichkeit nur schwer oder gar nicht möglich ist.

[0046] Weiterhin kann es Vorgaben und Regularien geben, die zum Schutz von Flora und Fauna ein Rückführen von größeren Mengen erwärmtem Wasser in das Meer verbieten. Insbesondere bei Elektrolyseuren mit großer Leistung könnten solche Vorgaben einen Betrieb erheblich limitieren.

[0047] In Figur 3 ist eine Offshore-Elektrolyseanlage (20) gemäß der Erfindung dargestellt. Diese Elektrolyseanlage (20) überwindet insbesondere die Nachteile der in den vorstehenden Figur 1 und Figur 2 beschriebenen Ausführungen. Demgemäß zeigt die Offshore-Elektrolyseanlage (20) einen Container (2), in dem ein nicht näher gezeigter Elektrolyseur, beispielsweise ein PEM- oder Alkali-Elektrolyseur, angeordnet ist. Die Offshore-Elektrolyseanlage (20) ist auf einer Tragstruktur (10), einer Offshore-Plattform angeordnet und für Offshore-Anwendung konzipiert. In dem Container (2) ist eine Kühlmittelpumpe (5) und ein Wärmeübertrager (4), insbesondere ein Wärmetauscher, angeordnet. Es ist ein geschlossener Kühlmittelkreislauf (3) realisiert, wobei ein großflächiger Wärmeübertrager (21) vorliegend über abnehmbare Rohrleitungen (23) in den Kühlmittelkreislauf (3) strömungsdicht einbaubar ist, so dass im Betrieb ein Kühlmittel durch die Kühlmittelpumpe (5) in einem geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) führbar ist. Der großflächige Wärmeübertrager (21) ist in einem Gestell (22) angeordnet, befestigt und entsprechend betriebsfertig positioniert. Die Baueinheit aus Gestell (22) und großflächigem Wärmeübertrager (21) ist mittels Befestigungselementen (24a, 24b) an der Tragstruktur (10) lösbar befestigt. Dabei taucht der großflächige Wärmeübertrager (21) unter den Meeresspiegel (11). Der großflächige Wärmeübertrager (21) in dem Gestell (22) ist derart angeordnet, dass das Gestell (22) den Wärmeübertrager (21) umfasst und den Wärmeübertrager (21) für den jeweiligen Betriebszustand über die Befestigungen (24a, 24b) in Position hält. Somit ist die Betriebsposition des großflächigen Wärmeübertragers (21) mit Eintauchen in

das Meerwasser oder auch Inspektions- oder Wartungspositionen flexibel einstellbar.

[0048] Durch das Meerwasser ist eine besonders effiziente und Wärmesenke realisiert, so dass Prozesswärme aus der Elektrolyse aus dem Container (3) ableitbar und dem Meerwasser lediglich über Konvektion zuführbar ist. Durch den geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) findet kein schädigender Stoffaustausch zwischen dem im Kreislauf umgewälzten Kühlmittel und dem Meerwasser statt. Diese Bereiche sind strömungstechnisch voneinander getrennt.

[0049] Zur Bereitstellung einer entsprechend großen Wärmeübertragungsfläche und Wärmeübertragungseffizienz weist der Wärmeübertrager (21) eine Rohrleitung auf, die an der kühlmittelführenden Rohraußenfläche mit Rippen und/oder Finnen ausgestaltet ist und/oder in einer Vielzahl von Rohrbögen geführt ist. Diese spezifische und besonders vorteilhafte Ausgestaltung ist in Figur 2 aus Übersichtlichkeitsgründen nicht näher illustriert. Die Rohrleitung ist aus Stahl ausgeführt und weist an der Außenfläche eine Korrosionsschutzschicht auf.

[0050] Die Erfindung sieht somit die Nutzung von Seewasser als Wärmesenke in nahezu großem Reservoir als Kühlmedium vor, wobei mit einem geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) lediglich die Wärme durch den in das Meer eingetauchten Wärmeübertrager (21) abgegeben wird. Hiermit sind große Kühlleistungen für die Offshore-Elektrolyse realisierbar und große Wärmeströme aus leistungsstarken Offshore-Elektrolyseuren über das Kühlmittel an das Meerwasser übertragbar. Der Eingriff dieser Konstruktion unter Umweltgesichtspunkten ist gering, insbesondere da eine stoffliche Entkoppelung von Kühlmittel und Meerwasser vorgesehen ist. Insbesondere dadurch, dass kein Seewasser angesaugt wird und stattdessen ein geschlossener Kühlmittelkreislauf (3) vorliegt, werden die zahlreiche im Betrieb geschilderten Probleme vermieden. Es können keine Fremdkörper angesaugt werden, im Inneren des Wärmeübertragers können sich keine unerwünschten anorganischen Schichten oder Biofouling bilden, was die Betriebssicherheit erhöht. Für die Eintauchbarkeit des Wärmeübertragers (21) in das Meerwasser sind geeignet konfektionierte Schwenkeinrichtungen und/oder Hebewerkzeuge oder Seilwinden an der Offshore-Elektrolyseanlage vorgesehen, die entsprechende Bewegungen des Wärmeübertragers wie Eintauchen oder Herausheben ermöglichen. Es ist somit möglich, bei Bedarf nach einer bestimmten Betriebszeit der Offshore-Elektrolyseanlage (20), den Wärmeübertrager (21) auszutauschen oder einer Wartung zu unterziehen.

[0051] In Figur 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel in besonders vorteilhafter Ausgestaltung einer Offshore-Elektrolyseanlage (20) gemäß der Erfindung gezeigt. Gegenüber des Ausführungsbeispiels in Figur 3 ist hierbei das Gestell (22) mit dem Wärmeübertrager (21) derart befestigt, dass bedarfsweise ein Herausführen, ein Herauskippen oder ein Herausklappen aus dem Meerwasser bewirkbar ist. Hierzu ist eine drehbare Befestigung (24a) der Baueinheit, umfassend das Gestell (22) mit dem großflächigen Wärmeübertrager (21) an der Struktur (10), vorgesehen. Durch diese vorteilhafte Weiterbildung wird die Möglichkeit eröffnet, den Wärmeübertrager (21) bedarfsweise aus dem Meerwasser flexibel über einen Drehmechanismus herauszuklappen, was die Handhabung erheblich erleichtert. Es sind dabei alternative Rohrführungen für den Wärmeübertrager möglich, die ohne das Entfernen der abnehmbaren Rohrstücke 23 - entsprechend dem Ausführungsbeispiel in Figur 3 - auskommen.

[0052] Die Offshore-Elektrolyseanlage gemäß Figur 3 und Figur 4 ist mit einer - nicht näher gezeigten - Anschlusseinheit zur Einspeisung von elektrischem Strom aus einer Offshore-Windturbine ausgestattet.

[0053] Beim Betrieb der Offshore-Elektrolyseanlage (20) zur Wasserstoffproduktion wird der in dem Container (2) angeordnete Elektrolyseur gekühlt, um die Prozesswärme abzuführen. Hierbei wird für die Wärmeaufnahme und Ableitung der Prozesswärme aus der Elektrolyse aus dem Container (2) das Kühlmittel in einem geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) geführt und der Container (2) mit seinen Einbauten, insbesondere der Elektrolyseur, effektiv gekühlt. Hierbei wird in dem geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) von dem durch die Prozesswärme aus der Elektrolyse erwärmten Kühlmittel, Wärme auf Meerwasser übertragen und das Kühlmittel dadurch abgekühlt. Ein schädigendes Eindringen von Meerwasser in den Kühlmittelkreislauf (3) oder sonstige unerwünschte Leckagen in dem Kühlmittelkreislauf werden überwacht.

Patentansprüche

1. Offshore-Elektrolyseanlage (20) umfassend einen in einem Container (2) angeordneten Elektrolyseur sowie einen Wärmeübertrager (4), welcher für die Wärmeaufnahme und Ableitung von Prozesswärme aus der Elektrolyse in einen geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) aus dem Container (2) ausgelegt ist.

2. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach Anspruch 1, eine Kühlmittelpumpe (5) zur Förderung des Kühlmittels (4) in dem Kühlmittelkreislauf (3) angeordnet ist.

3. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Kühlmittelpumpe (5) in dem Container (2) angeordnet ist.

4. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der in dem geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) für die Wärmeabgabe der durch das Kühlmittel (4) aufgenommenen Prozesswärme ein großflächiger Wärmeübertrager (21) vorgesehen ist, der in das Meer eintauchbar ist.

5. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach Anspruch 4, bei dem zur Bereitstellung einer großen Wärmeübertragungsfläche der Wärmeübertrager (21) eine Rohrleitung aufweist, die an der kühlmittelführenden Rohraußenfläche mit Rippen und/oder Finnen ausgestaltet ist und/oder in einer Vielzahl von Rohrbögen geführt ist.

6. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach Anspruch 5, bei dem die Rohrleitung aus Stahl ausgeführt ist, wobei die Rohrleitung an der Außenfläche eine Korrosionsschutzschicht aufweist.

7. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach Anspruch 6, bei der die Korrosionsschutzschicht Titan aufweist.

8. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach einem der Ansprüche 4 bis 7, wobei der großflächige Wärmeübertrager (21) in einem Gestell (22) angeordnet ist, das den Wärmeübertrager (21) umfasst und den Wärmeübertrager (21) für den jeweiligen Betriebszustand über Befestigungen (24a, 24b) in Position hält.

9. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach Anspruch 8, bei dem das Gestell (22) mit dem Wärmeübertrager (21) derart befestigt ist, dass bedarfsweise ein Herausführen oder Herauskippen aus dem Meerwasser bewirkbar ist.

10. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, bei der das Gestell (22) mit dem Wärmeübertrager (21) über eine drehbare Befestigung (24a) herauskippbar ist.

11. Offshore-Elektrolyseanlage (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer Anschlusseinheit zur Einspeisung von elektrischem Strom aus einer Offshore-Windturbine.

12. Verfahren zum Betrieb einer Offshore-Elektrolyseanlage (20) mit einem in einem Container (2) angeordneten Elektrolyseur, bei dem für die Wärmeaufnahme und Ableitung von Prozesswärme aus der Elektrolyse aus dem Container (2) Kühlmittel in einem geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) geführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem in dem geschlossenen Kühlmittelkreislauf (3) von dem durch die Prozesswärme erwärmten Kühlmittel, Wärme auf Meerwasser übertragen wird und das Kühlmittel dadurch abgekühlt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 13, bei dem ein schädigendes Eindringen von Meerwasser in den Kühlmittelkreiskreislauf (3) überwacht wird.

FIG 1

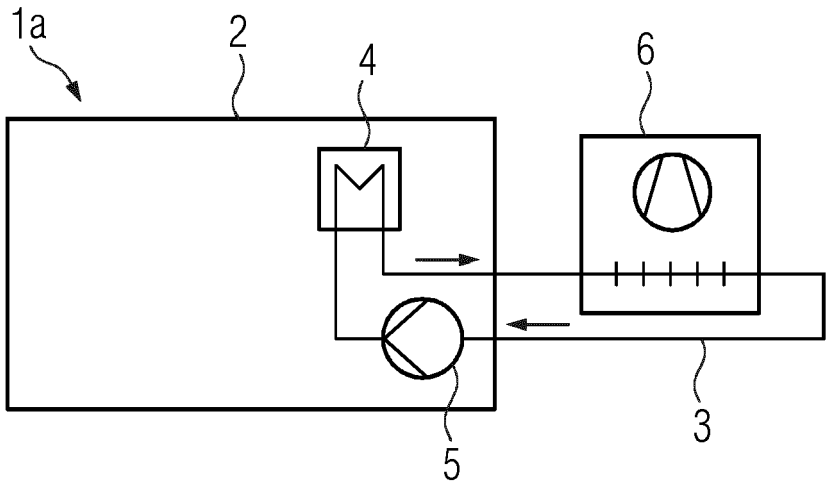


FIG 2

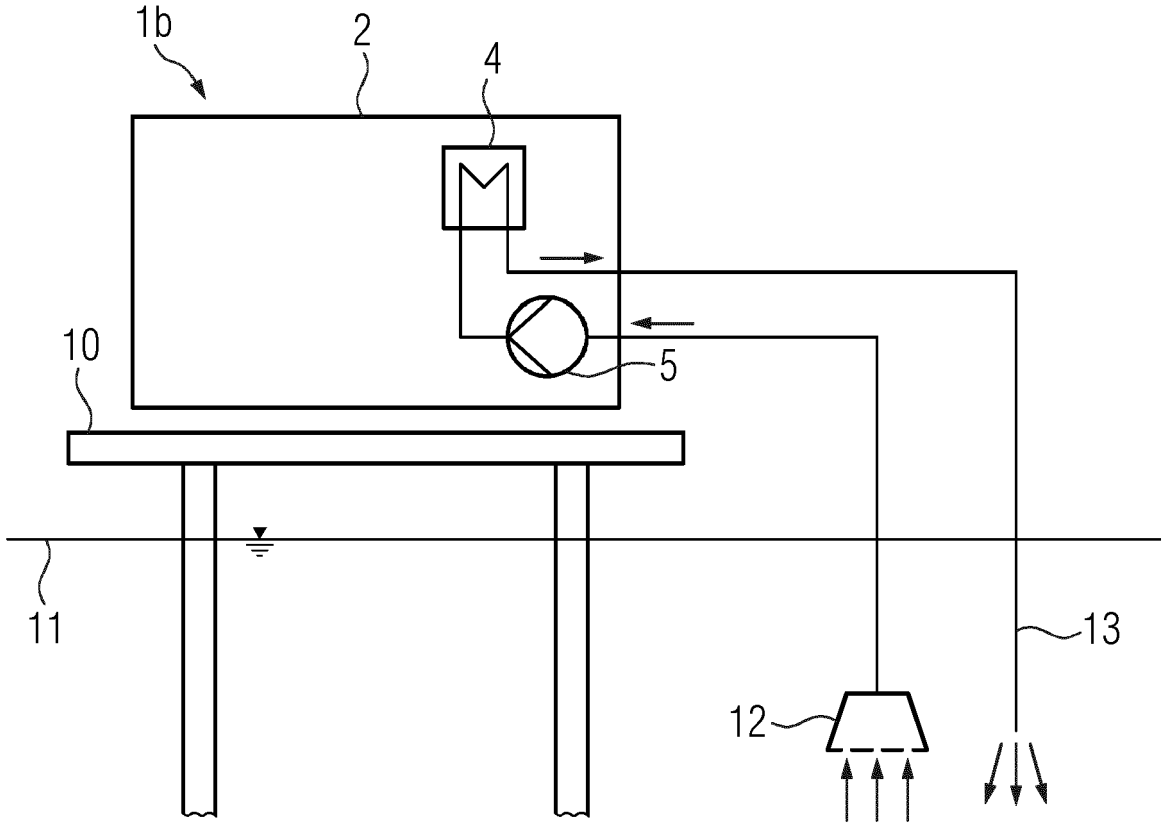


FIG 3

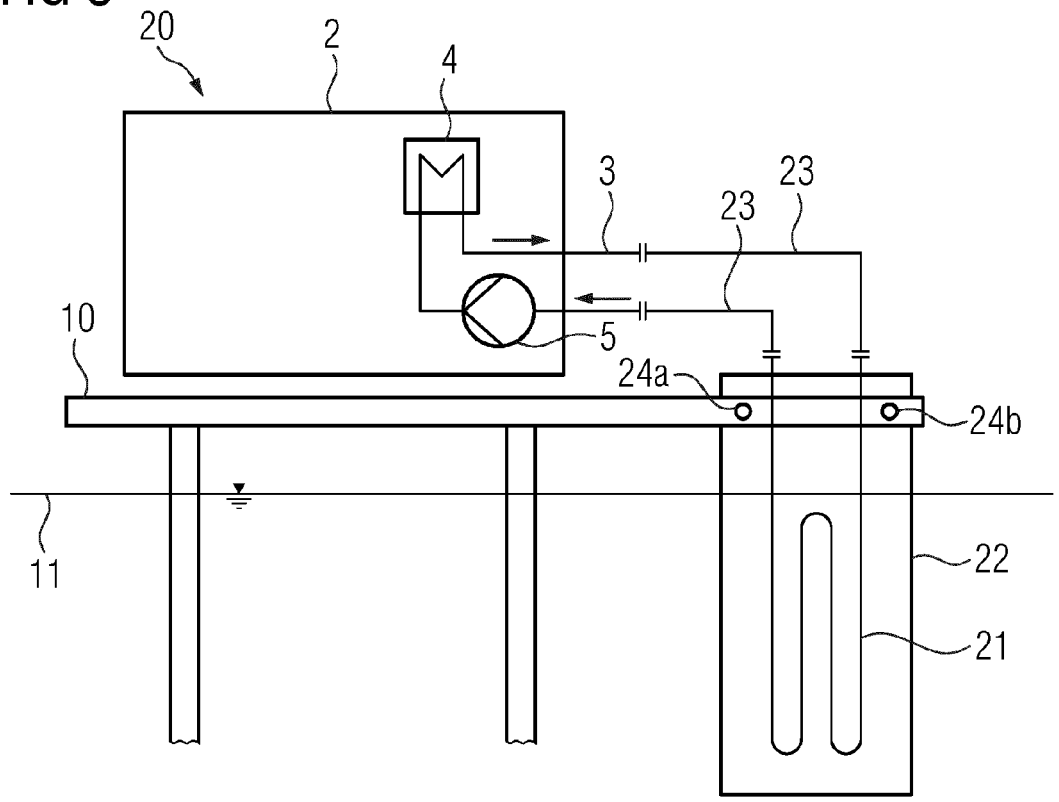
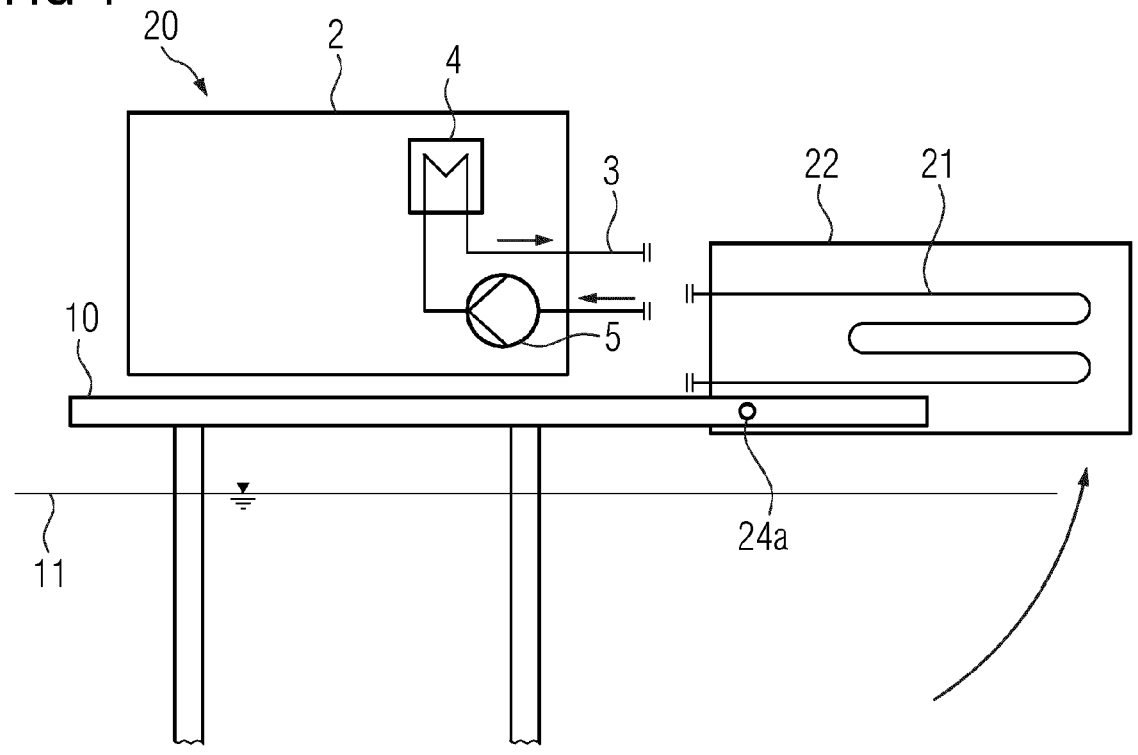


FIG 4



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 21 18 2686

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X Y A	EP 2 623 640 A1 (SIEMENS AG [DE]) 7. August 2013 (2013-08-07) * Absätze [0014], [0015], [0023], [0024], [0042]; Ansprüche 1-18; Abbildung 2 *	1,2,12 1,4,5, 11-13 3,6-10, 14	INV. C25B1/04 C25B9/73 C25B15/021
Y A	US 4 490 232 A (LAPEYRE JAMES M [US]) 25. Dezember 1984 (1984-12-25) * Spalten 4, 6; Abbildung 3 *	4,5,13 6-10	
Y	DE 10 2011 017491 A1 (DIETRICH KARL WERNER [DE]) 25. Oktober 2012 (2012-10-25) * Absatz [0006] - Absatz [0011]; Ansprüche 1-9 *	1,11,12	
Y	EP 2 216 546 A1 (ACCIONA EN SA [ES]; INGETEAM ENERGY SA [ES]) 11. August 2010 (2010-08-11) * Absätze [0042], [0044], [0046], [0090] - [0095]; Ansprüche 1-7; Abbildung 9 *	11	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

C25B

2 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	8. Dezember 2021	Teppo, Kirsi-Marja

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 21 18 2686

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

08-12-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2623640 A1	07-08-2013	CN 104093884 A	08-10-2014
		DK 2623640 T3	15-04-2019
		EP 2623640 A1	07-08-2013
		EP 2780491 A1	24-09-2014
		ES 2558738 T3	08-02-2016
		PT 2780491 E	29-02-2016
		WO 2013113631 A1	08-08-2013
US 4490232 A	25-12-1984	KEINE	
DE 102011017491 A1	25-10-2012	DE 102011017491 A1	25-10-2012
		DE 112012001785 A5	23-01-2014
		WO 2012142996 A2	26-10-2012
EP 2216546 A1	11-08-2010	AU 2008313636 A1	23-04-2009
		CA 2702795 A1	23-04-2009
		CN 101896718 A	24-11-2010
		EP 2216546 A1	11-08-2010
		ES 2299407 A1	16-05-2008
		ES 2657830 T3	07-03-2018
		US 2010259102 A1	14-10-2010
		WO 2009050311 A1	23-04-2009

EPO FORM P0461

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