

(19)



(11)

EP 4 553 192 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
14.05.2025 Patentblatt 2025/20

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C25B 1/04 (2021.01) C25B 15/08 (2006.01)
F02B 43/10 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23209081.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C25B 1/04; C25B 15/08; F02B 43/10

(22) Anmeldetag: **10.11.2023**

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

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)
 (72) Erfinder: **Kiener, Christoph**
81369 München (DE)
 (74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys**
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)

(54) **ENERGIESYSTEM ZUR BEREITSTELLUNG VON ELEKTRISCHER LEISTUNG**

(57) Es wird ein Energiesystem (1) zur Bereitstellung von elektrischer Leistung für wenigstens einen Verbraucher angegeben, umfassend:

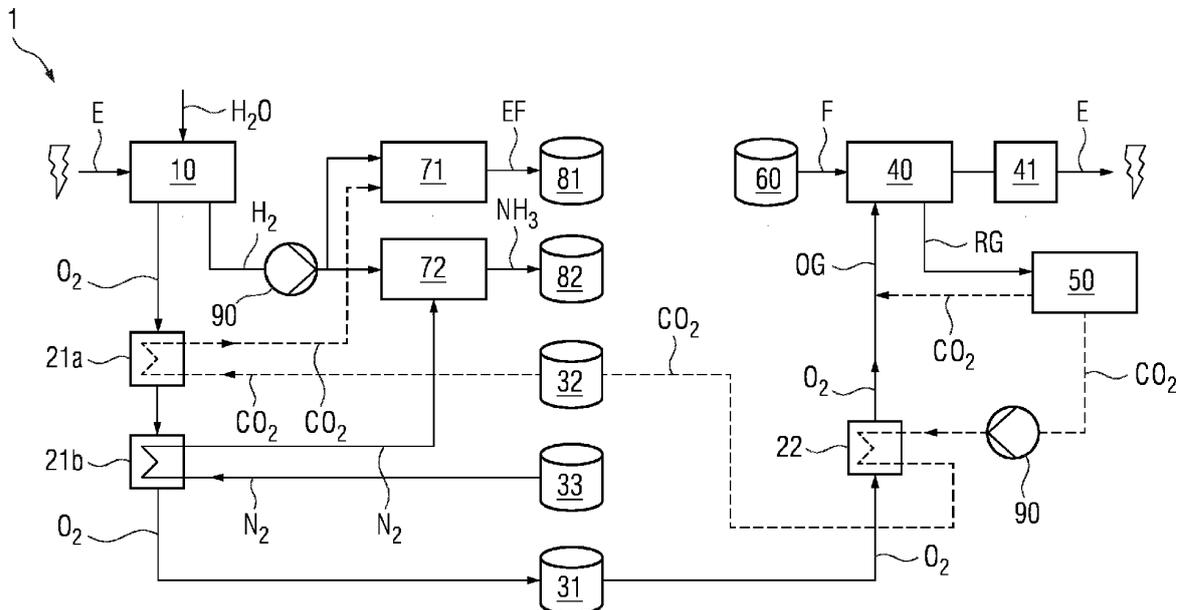
- einen Elektrolyseur (10) zur elektrolytischen Zerlegung von Wasser (H₂O) in Sauerstoff (O₂) und Wasserstoff (H₂) unter Einsatz von elektrischer Energie (E),
- einen Sauerstoffspeicher (31) zur Speicherung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs (O₂) in verflüssigter Form bei einer kryogenen Temperatur,
- eine Verbrennungskraftmaschine (40) und einen mittels der Verbrennungskraftmaschine (40) angetriebenen Generator (41) zur Bereitstellung von elektrischer Leistung

durch Verbrennung eines Brennstoffs (F) in einem Oxy-fuel-Verfahren, bei welchem der elektrolytisch erzeugte Sauerstoff (O₂) eingesetzt wird, sowie

- wenigstens einen Wärmetauscher (21,22) zur Übertragung von thermischer Energie zwischen dem elektrolytisch erzeugten Sauerstoff (O₂) und wenigstens einem anderen Prozessmedium (PM), wobei der Wärmetauscher (21,22) dazu ausgelegt ist, wenigstens in einem Teilbereich bei einer tiefkalten Temperatur von -35 °C oder weniger betrieben zu werden.

Weiterhin wird ein Verfahren zur Bereitstellung von elektrischer Leistung angegeben.

FIG 4



EP 4 553 192 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Energiesystem zur Bereitstellung von elektrischer Leistung für wenigstens einen Verbraucher, wobei das Energiesystem einen Elektrolyseur, einen Sauerstoffspeicher und eine Verbrennungskraftmaschine umfasst. Weiterhin betrifft die Erfindung ein entsprechendes Verfahren zur Bereitstellung von elektrischer Leistung.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind Energiesysteme bekannt, bei denen Wasser elektrolytisch in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt wird, wobei die Elektrolyse-Produkte im Anschluss dazu verwendet werden, elektrische Energie, Wärmeenergie und/oder chemische Syntheseprodukte zu gewinnen. Mit solchen Energiesystemen kann z.B. die aus erneuerbaren Energiequellen zur Verfügung stehende elektrische Energie aufgenommen werden und in anderer Form (insbesondere chemisch) gespeichert werden, um bei entsprechendem Bedarf zu einer anderen Zeit in der gewünschten Form zur Verfügung gestellt zu werden, vor allem in Form von elektrischer Energie. Solche Energiesysteme sind daher besonders nützlich, um Fluktuationen in der bereitgestellten elektrischen Leistung in einem Stromnetz aufgrund der fluktuierenden Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien auszugleichen bzw. an das Bedarfsprofil für die von den Verbrauchern aufzunehmende elektrische Leistung anzupassen. Ein solches Energiesystem wird beispielsweise in der Veröffentlichung mit dem Titel "Simulation Based Techno-Economic Evaluation of Self-sufficient Microgrid Systems with Renewable Energy and Power-to-X" von Z. Zhang et al. in P. Schossig et al. (Eds.): IRES 2022, AHE 16, pp. 551-562, 2023 beschrieben. Aufgrund der Trägheit von großen Kraftwerks-Anlagen wird bei dem Ausgleich von Fluktuationen der verfügbaren elektrischen Leistung zunehmend auf eine dezentrale Energiespeicherung gesetzt, d.h. auf eine Vielzahl von verbrauchernahen Energiesystemen, in denen jeweils genügend Energie umgesetzt und zwischengespeichert werden kann, um einen kleineren Unterzweig des Stromnetzes elektrisch zu versorgen. Diese Versorgung soll insbesondere für die typischen Zeitspannen ausreichend sein, in denen wenig elektrische Leistung aus erneuerbaren Energiequellen direkt zur Verfügung steht. Solche dezentralen Energiesysteme werden in der Fachwelt auch als Microgrid-Systeme bezeichnet, wenn sie der Versorgung von lokal abgegrenzten oder zumindest lokal abgrenzbaren Stromnetzen dienen - den sogenannten Microgrids. Die beschriebene dezentrale Zwischenspeicherung kann aber nicht nur in echten Inselnetzen zum Einsatz kommen (also Microgrids im sogenannten "island mode", ohne direkten Anschluss zu einem übergeordneten Verbundnetz), sondern auch in lokalen Teilnetzen innerhalb von ausgedehnteren Verbundnetzen (also Microgrids, die im sogenannten "grid-connected mode" betrieben werden, mit einer elektrischen Verbindung zum Verbundnetz).

[0003] Eine Schwierigkeit bei solchen Energiesyste-

men besteht allgemein darin, sowohl eine hohe Effizienz bei der Umwandlung der einzelnen Energieformen zu erreichen als auch die Zwischenspeicherung von ausreichend großen Energiemengen zu ermöglichen, um auftretende Fluktuationen auszugleichen.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Energiesystem bereitzustellen, welches diese beiden Anforderungen gleichzeitig erfüllt. Dieses Energiesystem soll insbesondere auf möglichst kleinem Raum realisierbar sein, damit die Speicherung innerhalb von kleinen, lokalen Teilnetzen oder Inselnetzen ermöglicht wird. Eine weitere Aufgabe ist es, ein entsprechendes Verfahren zur Bereitstellung von elektrischer Leistung anzugeben.

[0005] Diese Aufgaben werden durch das in Anspruch 1 beschriebene Energiesystem und das in Anspruch 15 beschriebene Verfahren gelöst.

[0006] Das erfindungsgemäße Energiesystem ist zur Bereitstellung von elektrischer Leistung für wenigstens einen Verbraucher ausgebildet. Es umfasst:

- einen Elektrolyseur zur elektrolytischen Zerlegung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff unter Einsatz von elektrischer Energie,
- einen Sauerstoffspeicher zur Speicherung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs in verflüssigter Form bei einer kryogenen Temperatur,
- eine Verbrennungskraftmaschine und einen mittels der Verbrennungskraftmaschine antreibbaren Generator zur Bereitstellung von elektrischer Leistung durch Verbrennung eines Brennstoffs in einem Oxy-fuel-Verfahren, bei welchem der elektrolytisch erzeugte Sauerstoff eingesetzt wird, sowie
- wenigstens einen Wärmetauscher zur Übertragung von thermischer Energie zwischen dem elektrolytisch erzeugten Sauerstoff und wenigstens einem anderen Prozessmedium, wobei der Wärmetauscher dazu ausgelegt ist, wenigstens in einem Teilbereich bei einer tiefkalten Temperatur von -35 °C

oder weniger betrieben zu werden.

[0007] In diesem Energiesystem kann der Elektrolyseur vorteilhaft dann betrieben werden, wenn elektrische Energie besonders preiswert ist und/oder wenn sie im Überschuss vorliegt, z.B. wenn gerade viel elektrische Energie aus erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaik oder Windkraft zur Verfügung steht bzw. wenn der Verbrauch gerade besonders gering ist. Von den gebildeten Elektrolyseprodukten soll zumindest der Sauerstoff zwischengespeichert werden, um eine Verwendung zu einem späteren Zeitpunkt zu ermöglichen. Gemäß der Erfindung geschieht dies in verflüssigter Form bei einer kryogenen Temperatur. Unter einer kryogenen Temperatur soll hier allgemein eine Temperatur von -182 °C oder weniger verstanden werden. Bei einer solchen Temperatur liegt Sauerstoff bei Normaldruck in verflüssigter Form vor.

[0008] Die Verbrennungskraftmaschine ist mit dem Generator gekoppelt, um zusammen mit diesem durch

Verbrennung eines Brennstoffs elektrische Leistung bereitzustellen. Die Verbrennung des Brennstoffs soll dabei in einem sogenannten Oxyfuel-Verfahren erfolgen. Unter einem Oxyfuel-Verfahren soll dabei im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung allgemein ein Verbrennungsverfahren verstanden werden, bei dem ein Brennstoff zusammen mit einem Oxidationsgas zur Verbrennung gebracht wird, wobei das Oxidationsgas einen Sauerstoffanteil von wenigstens 15 % aufweist und einen Stickstoffanteil von höchstens 5 %, bevorzugt höchstens 1 %, besonders bevorzugt höchstens 0,1 %. Insbesondere kann das Oxidationsgas im Wesentlichen frei von Stickstoff sein. Der Sauerstoffanteil kann vorteilhaft noch wesentlich höher sein, z.B. wenigstens 21 % oder sogar wenigstens 25 % betragen oder sogar über 30 %. Es soll jedenfalls im Rahmen der Erfindung nicht ausgeschlossen sein, dass neben Sauerstoff auch noch ein oder mehrere andere Stoffe im Oxidationsgas vorliegen, insbesondere Kohlenstoffdioxid. Auch andere Inertgase wie z.B. Edelgase dürfen prinzipiell in geringen Anteilen vorhanden sein, beispielsweise jeweils im Bereich von bis zu 1 %.

[0009] Insbesondere kann das Oxidationsgas im Wesentlichen eine Mischung von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid sein. Durch die Abwesenheit von Stickstoff (abgesehen von minimalen Verunreinigungen) wird durch diese Art von Verbrennungsverfahren erreicht, dass auch das bei der Verbrennung gebildete Rauchgas einen geringen Stickstoffanteil aufweist oder sogar im Wesentlichen frei von Stickstoff ist (zumindest dann, wenn auch der verwendete Brennstoff im Wesentlichen frei von Stickstoff ist). Hierdurch kann z.B. auf die Verwendung eines Katalysators zur Rauchgasnachbehandlung verzichtet werden, da bei der Verbrennung im Wesentlichen keine Stickoxide gebildet werden. Durch den vergleichsweise hohen Sauerstoffgehalt beim Oxyfuel-Verfahren können im Vergleich zur Verbrennung mit Luft hohe Flammentemperaturen erreicht werden. Wenn das Oxidationsgas reiner Sauerstoff oder eine Mischung aus Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid ist, ist das Oxyfuel-Verfahren besonders geeignet, um nach der Verbrennung das im Rauchgas enthaltene Kohlenstoffdioxid zurückzugewinnen, da in diesem Fall das Rauchgas im Wesentlichen eine Mischung aus Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf ist (gegebenenfalls mit einem Anteil an unreaktiertem Sauerstoff, der bei der Verbrennung im Überschuss vorliegt, um eine vollständige Verbrennung zu gewährleisten). Insbesondere sind im Rauchgas nur geringe Mengen an sonstigen Gasen (sogenannten Fremdgasen) wie Stickstoff oder Argon enthalten. Dies erleichtert die Rückgewinnung und Rückführung des im Rauchgas enthaltenen Kohlenstoffdioxids in die Prozesse des Energiesystems, da dann insbesondere keine Trennung von Kohlenstoffdioxid und Stickstoff erforderlich ist.

[0010] Mit dem an die Verbrennungskraftmaschine gekoppelten Generator kann elektrische Leistung für einen oder mehrere Verbraucher bereitgestellt werden. Vorteilhaft können die Verbrennungskraftmaschine und der

Generator vor allem dann betrieben werden, wenn vergleichsweise wenig elektrische Energie verfügbar ist. Dabei wird für das Oxyfuel-Verfahren der Sauerstoff eingesetzt, der vorher bei einem Überschuss von elektrischer Energie elektrolytisch erzeugt wurde und in flüssiger Form zwischengespeichert wurde.

[0011] Der Wärmetauscher dient dazu, den elektrolytisch erzeugten Sauerstoff entweder zu erwärmen oder zu kühlen und dabei ein anderes Prozessmedium des Energiesystems zu kühlen bzw. zu erwärmen. Insbesondere handelt es sich dabei um einen Wärmetauscher, der zur indirekten Wärmeübertragung zwischen zwei räumlich getrennten Stoffströmen ausgebildet ist. Der Wärmetauscher soll dabei wenigstens in einem Teilbereich bei einer tiefkalten Temperatur betrieben werden, insbesondere wird dabei der zu erwärmende Sauerstoff von einer tiefkalten Temperatur auf eine höhere Temperatur erwärmt oder der zu kühlende Sauerstoff wird auf eine tiefkalte Temperatur gekühlt. Unter einer tiefkalten Temperatur soll dabei allgemein eine Temperatur von -35 °C oder weniger verstanden werden. Besonders vorteilhaft kann die Temperatur im relevanten Teilbereich des Wärmetauschers sogar unterhalb von -50 °C liegen, und insbesondere kann es sich sogar um eine kryogene Temperatur handeln, bei der Sauerstoff in verflüssigter Form vorliegt. Durch den Einsatz eines solchen Wärmetauschers bei der Erwärmung und/oder der Kühlung des zwischengespeicherten Sauerstoffs wird erreicht, dass die Speicherung in verflüssigter Form bei einer insgesamt vergleichsweise hohen Energieeffizienz erfolgen kann. Wenn Sauerstoff im Wesentlichen durch adiabatische Verdichtung mit einem Kompressor verflüssigt wird, wird sehr viel Energie für den Betrieb des Kompressors benötigt. Die Verflüssigung ist energetisch wesentlich effizienter, wenn ein ohnehin beim Betrieb des Energiesystems in kryogener Form vorliegendes Prozessmedium genutzt werden kann, um den Sauerstoff abzukühlen und die Verflüssigung dadurch zumindest zu unterstützen. Alternativ oder zusätzlich kann der bei der Zwischenspeicherung in flüssiger Form vorliegende Sauerstoff genutzt werden, um ein anderes Prozessmedium abzukühlen und insbesondere dessen Verflüssigung zumindest zu unterstützen. Auf diese Weise kann die "Kälte" des Sauerstoffs bzw. des anderen Prozessmediums als Ressource im Energiesystem weitergenutzt werden.

[0012] Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Energiesystems liegt somit darin, dass der elektrolytisch gebildete Sauerstoff auf energieeffiziente Weise kryogen zwischengespeichert werden kann. Die Speicherung von Sauerstoff in verflüssigter Form ist vor allem wegen des wesentlichen geringeren Platzbedarfs für den Speicher vorteilhaft, denn für den flüssigen Sauerstoff ist ein wesentlich geringeres Speichervolumen erforderlich als für einen Druckspeicher bei Umgebungstemperatur. Außerdem wird für die Herstellung des Speichers auch wesentlich weniger Material benötigt für als einen Druckspeicher. Aufgrund der Explosionsgefahr ist der Druck

eines solchen warmen Sauerstoffspeichers typischerweise auf 300 bar begrenzt, was das benötigte Speichervolumen im Vergleich zu anderen Gasen noch erhöht. Der Vorteil des geringeren Speichervolumens kommt bei kleineren, dezentralen Energiesystemen besonders zum Tragen, weil hier typischerweise wenig Platz zur Verfügung steht. Ein weiterer Vorteil der kryogenen Zwischenspeicherung des Sauerstoffs ist auch in der Verringerung der Explosionsgefahr zu sehen.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Bereitstellung von elektrischer Leistung für wenigstens einen Verbraucher. Es umfasst die folgenden Schritte:

- a) elektrolytische Zerlegung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff unter Einsatz von elektrischer Energie,
- b) Speicherung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs in verflüssigter Form bei einer kryogenen Temperatur,
- c) Verbrennung eines Brennstoffs in einem Oxyfuel-Verfahren, bei welchem der elektrolytisch erzeugte Sauerstoff eingesetzt wird, innerhalb einer Verbrennungskraftmaschine und Bereitstellung von elektrischer Leistung mittels eines an die Verbrennungskraftmaschine gekoppelten Generators.

[0014] Dabei wird mit einem Wärmetauscher thermische Energie zwischen dem elektrolytisch erzeugten Sauerstoff und wenigstens einem anderen Prozessmedium übertragen, wobei der Wärmetauscher wenigstens in einem Teilbereich bei einer tiefkalten Temperatur von -35 °C oder weniger betrieben wird. Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich analog zu den oben beschriebenen Vorteilen des erfindungsgemäßen Energiesystems. Das Verfahren wird insbesondere mit dem erfindungsgemäßen Energiesystem durchgeführt.

[0015] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung gehen aus den von den Ansprüchen 1 abhängigen Ansprüchen sowie der folgenden Beschreibung hervor. Dabei können die beschriebenen Ausgestaltungen des Energiesystems auch bei dem Verfahren realisiert werden, und umgekehrt.

[0016] So kann das Energiesystem allgemein vorteilhaft eine Mehrzahl von Wärmetauschern umfassen, wobei insbesondere wenigstens ein Wärmetauscher zur Kühlung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs auf eine tiefkalte Temperatur ausgestaltet ist und wenigstens ein weiterer Wärmetauscher zur Erwärmung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs von einer tiefkalten Temperatur auf eine höhere Temperatur ausgestaltet ist. Bei dieser Ausgestaltung wird eine besonders hohe Energieeffizienz erreicht, da sowohl beim Abkühlen des Sauerstoffs zur Verfügung stehende Kälte aus einem anderen Prozessmedium genutzt werden kann als auch beim Erwärmen des Sauerstoffs vor der Verwendung im Oxyfuel-Verfahren die darin vorliegende Kälte für die Kühlung eines anderen Prozessmediums genutzt werden

kann. Prinzipiell können für die Erwärmung und/oder für die Abkühlung des Sauerstoffs jeweils auch mehrere Wärmetauscher vorgesehen sein. Alternativ oder zusätzlich kann im jeweiligen Pfad auch ein mehrstufiger Wärmetauscher vorgesehen sein.

[0017] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform kann wenigstens einer der vorliegenden Wärmetauscher dazu ausgebildet sein, wenigstens in einem Teilbereich von einer kryogenen Flüssigkeit durchströmt zu werden, insbesondere von dem elektrolytisch erzeugtem flüssigen Sauerstoff. Mit anderen Worten ist der Wärmetauscher dazu ausgelegt, zumindest im genannten Teilbereich bei einer kryogenen Temperatur betrieben zu werden. Besonders vorteilhaft kann beim Betrieb des Energiesystems gasförmiger Sauerstoff bei seiner Abkühlung innerhalb eines Wärmetauschers kondensieren, wobei insbesondere das jeweilige andere Prozessmedium bei seiner Erwärmung verdampfen kann. Alternativ oder zusätzlich kann ein anderes Prozessmedium bei seiner Abkühlung innerhalb eines Wärmetauschers kondensieren, wobei insbesondere der flüssige Sauerstoff bei seiner Erwärmung verdampfen kann. Auf diese Weise kann die Verflüssigung von Sauerstoff bzw. des anderen Prozessmediums besonders energieeffizient durchgeführt werden.

[0018] Gemäß einer ersten Ausführungsvariante ist wenigstens einer der vorliegenden Wärmetauscher zur Kühlung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs auf eine tiefkalte Temperatur ausgestaltet. Dabei ist das zu erwärmende Prozessmedium insbesondere entweder flüssiger Stickstoff oder flüssiges Kohlenstoffdioxid. Flüssiger Stickstoff ist ein besonders leicht handhabbares und relativ kostengünstig verfügbares Kryogen, dessen Kälte zur Verflüssigung von Sauerstoff genutzt werden kann. Der beim Wärmetausch verdampfte Stickstoff kann innerhalb des Energiesystems optional für andere Zwecke genutzt werden, beispielsweise zur Synthese von Ammoniak zusammen mit dem elektrolytisch erzeugten Wasserstoff. Auch Kohlenstoffdioxid ist vergleichsweise einfach handhabbar und liegt beispielsweise bei einem Druck leicht oberhalb von 5,2 bar in flüssiger Form vor, beispielsweise bei einer Temperatur im Bereich zwischen -56 °C und -20 °C . Ein derart kaltes Temperaturniveau kann zumindest zur Vorkühlung von Sauerstoff bei der Verflüssigung genutzt werden. Kohlenstoffdioxid kann in dem Energiesystem ohnehin als Prozessgas vorliegen und insbesondere aus dem Verbrennungsprozess rückgewonnen werden. Es kann vor seiner Weiterverwendung zumindest teilweise platzsparend in verflüssigter Form gespeichert werden.

[0019] Alternativ oder zusätzlich kann gemäß einer zweiten Ausführungsvariante wenigstens einer der Wärmetauscher zur Erwärmung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs von einer tiefkalten Temperatur ausgestaltet sein. Dabei kann das zu kühlende Prozessmedium insbesondere Kohlenstoffdioxid sein. Das Kohlenstoffdioxid kann dabei vorteilhaft verflüssigt werden. Auch hier kann es sich insbesondere um aus der Verbrennung rückge-

wonnenes Kohlenstoffdioxid handeln, welches vor seiner Weiterverwendung platzsparend in verflüssigter Form gespeichert wird, wobei zur Unterstützung der Verflüssigung die Kälte des kryogenen Sauerstoffs genutzt wird.

[0020] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann wenigstens einer der vorhandenen Wärmetauscher mit einem additiven Herstellungsverfahren hergestellt sein. Unter dem Begriff "additives Herstellungsverfahren" wird hier gemäß der Industrienorm ASTM F2792 allgemein ein Prozess verstanden, bei dem Material sequentiell aufgetragen wird und jeweils mit vorhergehenden Materialbereichen so verbunden wird, dass ein dreidimensionaler Formkörper nach einem vordefinierten dreidimensionalen geometrischen Modell erzeugt werden kann. Dies steht im Gegensatz zu den herkömmlichen subtraktiven Fertigungsverfahren, bei denen ein dreidimensionaler Formkörper durch Entfernung von Material aus einem Rohling (beispielsweise durch Fräsen, Schleifen und/oder Bohren) erhalten wird. Ein Vorteil eines solchen additiv hergestellten Wärmetauschers ist, dass dabei auch feine und komplexe Strukturen im thermischen Wechselwirkungsbereich der beiden Stoffströme ermöglicht werden. Somit kann ein besonders effektiver Wärmeübergang bewirkt werden. Allgemein und unabhängig von dem verwendeten Herstellungsverfahren kann es sich bei wenigstens einem der vorhandenen Wärmetauscher um einen Gegenstrom-Wärmetauscher handeln. Weiterhin kann es vorteilhaft sein, wenn wenigstens einer der Wärmetauscher als mehrstufiger Wärmetauscher ausgestaltet ist.

[0021] Gemäß einer allgemein bevorzugten Ausführung kann es sich bei dem Energiesystem um ein multimodales Energiesystem handeln. Hierunter soll ein Energiesystem verstanden werden, welches neben der Bereitstellung von elektrischer Leistung zusätzlich zur Bereitstellung chemischer Stoffe und/oder von Wärmeleistung und/oder Kühlleistung dient. Gemäß einer ersten vorteilhaften Ausführungsvariante eines solchen multimodalen Energiesystems umfasst dieses wenigstens einen Synthesereaktor zur Erzeugung wenigstens eines Syntheseprodukts aus dem elektrolytisch erzeugten Wasserstoff und wenigstens einem weiteren Edukt. Das Syntheseprodukt kann beispielsweise ein wasserstoffhaltiges Produkt sein. Auch ein solcher optional vorhandener Synthesereaktor kann bevorzugt mit einem additiven Herstellungsverfahren gefertigt sein, was wiederum Vorteile in Bezug auf feine und komplexe innenliegende Strukturen zur Führung der beteiligten Stoffströme mit sich bringt.

[0022] Besonders vorteilhaft kann der Synthesereaktor bei dieser Ausführungsvariante zur Umsetzung von Wasserstoff mit Kohlenstoffdioxid ausgelegt sein. Mit anderen Worten kommt Kohlenstoffdioxid dann als weiteres Edukt zum Einsatz, wobei prinzipiell zusätzliche weitere Edukte nicht ausgeschlossen sein sollen. Ganz besonders bevorzugt kann der Synthesereaktor zur Bildung eines kohlenstoffbasierten synthetischen Kraft-

stoffs ausgebildet sein. Ein solcher synthetischer Kraftstoff wird allgemein auch als E-Fuel bezeichnet. Er kann eine oder mehrere Verbindungen der allgemeinen Summenformel $C_nH_mO_z$ umfassen, wobei n und m bevorzugt 1 oder größer ist und z insbesondere auch 0 sein kann oder einen Wert von 1 oder mehr annehmen kann. Der synthetische Kraftstoff kann insbesondere eine oder mehrere der folgenden Verbindungen umfassen:

- 10 - Methan, Ethan, Propan, Butan oder ein anderer gesättigter Kohlenwasserstoff,
- Methanol oder ein anderer Alkohol,
- Dimethylether oder ein anderer Ether,
- Oligomethylether oder andere Polyether
- 15 - Ethylen, Propylen oder ein anderer ungesättigter Kohlenwasserstoff,
- sogenannte Fischer-Tropsch-Produkte wie aliphatische lineare Kohlenwasserstoffe mit 8 bis 20 Kohlenstoffatomen.

[0023] Ein solcher synthetischer Kraftstoff kann beispielsweise (ganz oder teilweise) in Schritt c) als Brennstoff für die Verbrennungskraftmaschine in dem Oxyfuel-Verfahren eingesetzt werden. Alternativ kann im Synthesereaktor jedoch auch ein vergleichsweise hochwertiges Syntheseprodukt hergestellt werden (z.B. als Rohstoff für die chemische Industrie), so dass die Verbrennung unwirtschaftlich wäre und stattdessen ein anderer Brennstoff in Schritt c) verwendet wird. Auch Kombinationen dieser beiden Varianten können zum Einsatz kommen, z.B. wenn die Verfügbarkeit von Brennstoffen aus anderen Quellen schwankend ist und/oder die hergestellte Menge des Syntheseprodukts den anderweitigen Bedarf zeitweilig übersteigt.

- 35 **[0024]** Alternativ oder zusätzlich zu einer solchen kohlenstoffbasierten Synthesestufe kann das Energiesystem einen Synthesereaktor umfassen, welcher zur Bildung von Ammoniak durch Umsetzung von Wasserstoff mit Stickstoff als weiterem Edukt ausgelegt ist. Diese Variante ist besonders vorteilhaft in Kombination mit der Verwendung von flüssigem Stickstoff als kryogenem Kühlmittel, weil dann der zur Kühlung eingesetzte Stickstoff nach seiner Verdampfung als Edukt für die Synthese verwendet werden kann. Durch diese Doppelnutzung wird wiederum der Gesamtprozess besonders ressourceneffizient. Das Syntheseprodukt Ammoniak kann in der chemischen Industrie als Rohstoff für die Produktion anderer Stickstoffverbindungen eingesetzt werden oder als Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt werden.
- 40 Alternativ kann auch Ammoniak als synthetischer Kraftstoff eingesetzt werden. Auch das Syntheseprodukt Ammoniak kann in verflüssigter Form gespeichert werden, wobei bei der Verflüssigung des Ammoniaks und/oder bei der Kühlung seiner Edukte ein zusätzlicher Wärmetauscher zum Einsatz kommen kann. Insbesondere kann dieser zusätzliche Wärmetauscher zur Kühlung von Ammoniak und/oder seiner Edukte bei gleichzeitiger Erwärmung von reinem Stickstoff und/oder Kohlenstoffdioxid

ausgelegt sein. Alternativ zu der Verwendung zur Ammoniak-Synthese kann der gasförmige Stickstoff, der aus der Verdampfung des im Wärmetauscher eingesetzten flüssigen Stickstoffs gebildet wird, auch als Kältemittel recycelt werden und entsprechend mittels eines Hochdruckverdichters verflüssigt und dem Kreislauf zurückgeführt werden. Es ist auch eine Kombination beider Varianten denkbar, wobei der Anteil der jeweiligen Verwendung in Abhängigkeit von den verfügbaren Ressourcen eingestellt werden kann.

[0025] Gemäß einer zweiten vorteilhaften Ausführungsvariante des multimodalen Energiesystems kann die Verbrennungskraftmaschine eine Kraft-Wärmegekoppelte Maschine sein, mit welcher zusätzlich zum Antreiben des Generators Wärmeleistung für einen Verbraucher bereitstellbar ist. Mit anderen Worten wird die thermische Energie der Verbrennung ähnlich wie bei einem Heizkraftwerk genutzt und als Wärmeleistung einem Verbraucher zur Verfügung gestellt. Dies kann gegebenenfalls zusätzlich zu der Bereitstellung von einem oder mehreren Syntheseprodukten erfolgen, so dass das Energiesystem dann insgesamt drei verschiedene Arten von Output erzeugt: elektrische Leistung, Wärmeleistung und ein oder mehrere Syntheseprodukte.

[0026] Bei der Verbrennung in der Verbrennungskraftmaschine können prinzipiell unterschiedliche Brennstoffe zum Einsatz kommen: Dies kann entweder der bereits erwähnte synthetische Kraftstoff sein oder ein anderer Brennstoff wie z.B. ein fossiler Brennstoff wie Erdgas oder Butan-Propan-Flüssiggas (LPG Liquefied Petroleum Gas) oder Diesel oder Heizöl oder auch ein anderer erneuerbarer Brennstoff wie z.B. ein brennbares Biogas aus einer Biogasanlage. Der Brennstoff kann auch ein Synthesegas mit den Hauptkomponenten Wasserstoff H_2 , Kohlenstoffmonoxid CO und Kohlenstoffdioxid CO_2 aus der thermochemischen Umwandlung (insbesondere einer Vergasungsreaktion, englisch "gasification") eines heizwerthaltigen kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffes mit einer summarischen Zusammensetzung $C_xH_yO_zN_uSi_v$ mit reinem Sauerstoff O_2 und Wasserdampf H_2O sein. Bei der Anwendung des Oxyfuel-Verfahrens mit einem (im Vergleich zu Luft) erhöhten Sauerstoff-Gehalt können vorteilhaft auch Brennstoffe mit niedrigem Energiegehalt zum Einsatz kommen, z.B. ein sogenanntes Schwachgas mit einem Heizwert von 7100 kJ/Nm^3 oder weniger.

[0027] Allgemein besonders vorteilhaft kann die Verbrennungskraftmaschine mit einer Vorrichtung zur Rückgewinnung von Kohlenstoffdioxid aus dem bei der Verbrennung gebildeten Rauchgas in Verbindung stehen. Mit anderen Worten kann bei dem Verfahren eine Rückgewinnung von Kohlenstoffdioxid erfolgen, wobei dieses rückgewonnene Kohlenstoffdioxid insbesondere nach einem Wärmetausch mit tiefkaltem Sauerstoff in verflüssigter Form zwischengespeichert werden kann. Das verflüssigte Kohlenstoffdioxid kann insbesondere nach seiner Erwärmung (wiederum vorteilhaft unter Wärmetausch mit Sauerstoff und/oder einem anderen Prozess-

medium) einem Synthesereaktor als Edukt für die kohlenstoffbasierte Synthese zugeführt werden. Alternativ oder zusätzlich kann das rückgewonnene Kohlenstoffdioxid auch in die Verbrennungskraftmaschine zurückgeführt werden, wobei eine kryogene Speicherung für diesen Anteil im Allgemeinen nicht notwendig ist. Dies liegt daran, dass diese Art der Wiederverwendung im selben Betriebsmodus erfolgen kann wie die Gewinnung des Kohlenstoffdioxids, nämlich während des Verbrennungsprozesses. Allgemein und unabhängig von der Art der Wiederverwendung kann das Kohlenstoffdioxid nahezu vollständig aus dem gebildeten Rauchgas zurückgewonnen werden.

[0028] Besonders vorteilhaft kann bei dieser Ausführungsform die Verbrennungskraftmaschine zur Verbrennung des Brennstoffs mit einem Gemisch aus elektrolytisch erzeugtem Sauerstoff und aus dem Rauchgas rückgewonnenen Kohlenstoffdioxid ausgelegt sein. Mit anderen Worten wird für die Verbrennung ein Oxidationsgas eingesetzt, welches überwiegend oder sogar im Wesentlichen aus Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid besteht. Vorteilhaft können die Anteile von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid bei einem solchen Gemisch an die jeweils aktuellen Randbedingungen des Verbrennungsprozesses angepasst werden. So kann z.B. die Verbrennungstemperatur durch Änderung des Mischungsverhältnisses geregelt werden. Auch bei einer Änderung der Zusammensetzung des verwendeten Brennstoffs kann eine entsprechende Anpassung der Zusammensetzung des Oxidationsgases erfolgen, z.B. um eine vorgegebene Verbrennungstemperatur auch bei Schwankungen in der Brennstoff-Zusammensetzung aufrechtzuerhalten.

[0029] Aufgrund des vergleichsweise hohen Sauerstoff-Gehalts im Oxidationsgas und der über das Mischungsverhältnis regelbaren Verbrennungstemperatur kann auch die Bildung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und/oder von anderen flüchtigen organischen Verbindungen bei der Verbrennung vorteilhaft gering gehalten werden. Aufgrund des dosierbaren Sauerstoff-Gehalts in dem Oxidationsgas kann auch vorteilhaft auf einen Abgas-Turbolader verzichtet werden, da anstelle einer Druckerhöhung (oder zusätzlich dazu) eine Erhöhung des Sauerstoffgehaltes in dem Gemisch erfolgen kann. Wenn auf einen Abgasturbolader verzichtet wird, steht wiederum das Rauchgas bei einem vergleichsweise höheren Druck zur Verfügung. Dies kann sich günstig auf die Rückgewinnung von Kohlenstoffdioxid auswirken, vor allem weil dann keine so starke Verdichtung für die Verflüssigung des rückgewonnenen Kohlenstoffdioxids nötig ist. Allgemein kann die Verbrennungskraftmaschine auch ohne einen Abgas-Turbolader bei einem vergleichsweise hohen Ladedruck betrieben werden, da der aus der flüssigen Form verdampfte Sauerstoff bei einem relativ hohen Druck zur Verfügung steht und der kohlenstoffdioxidhaltige Abgasstrom ebenfalls einen hohen Restdruck hat.

[0030] Bevorzugt ist das Oxidationsgas bei der Ver-

wendung von rückgewonnenem Kohlenstoffdioxid im Wesentlichen frei von Stickstoff. Insgesamt kann dabei die Verbrennungskraftmaschine zur stickstofffreien Verbrennung des Brennstoffs ausgelegt sein. Mit anderen Worten kann auch der verwendete Brennstoff im Wesentlichen frei von Stickstoff sein. Dann werden bei der Verbrennung keine Stickoxide gebildet, und es kann auf einen Katalysator verzichtet werden.

[0031] Weiterhin ist es im Zusammenhang mit der Rückgewinnung von Kohlenstoffdioxid vorteilhaft, wenn sowohl im Brennstoff als auch in der Zufuhr von elektrolytisch erzeugtem Sauerstoff nur geringe Mengen von anderen Inertgasen, insbesondere von Edelgasen, als Verunreinigung vorliegen. Beispielsweise kann der Stoffmengenanteil der Edelgase jeweils im Bereich unterhalb von 1 % und bevorzugt sogar unterhalb von 0,1 % liegen, um eine allmähliche Anreicherung dieser Stoffe innerhalb des geschlossenen Kohlenstoffdioxid-Kreislaufs zu vermeiden.

[0032] Allgemein vorteilhaft ist das Energiesystem zwischen einem ersten und einem zweiten Betriebsmodus umschaltbar. Dabei dient der erste Betriebsmodus dazu,

a) Wasser mittels des Elektrolyseurs unter Einsatz von elektrischer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen,

b) und Sauerstoff in verflüssigter Form im Sauerstoffspeicher zu speichern.

Demgegenüber dient der zweite Betriebsmodus dazu,

c) Brennstoff in der Verbrennungskraftmaschine im Oxyfuel-Verfahren zu verbrennen, wobei der Generator von der Verbrennungskraftmaschine angetrieben wird und mit dem Generator elektrische Leistung bereitgestellt wird und elektrolytisch erzeugter Sauerstoff aus dem Sauerstoffspeicher verbraucht wird.

[0033] Mit anderen Worten werden im ersten Betriebsmodus zumindest die Schritte a) und b) des erfindungsgemäßen Verfahrens durchgeführt und im zweiten Betriebsmodus wird zumindest Schritt c) des Verfahrens durchgeführt. Zweckmäßig kommt der erste Betriebsmodus vor allem dann zum Einsatz, wenn viel elektrische Energie zur Verfügung steht und von den Verbrauchern vergleichsweise wenig elektrische Leistung abgerufen wird. Dann kann zumindest der Sauerstoff als Produkt der Elektrolyse für die spätere Verwendung in verflüssigter Form zwischengespeichert werden. In diesem ersten Betriebsmodus kann zweckmäßig auch der optional vorhandene Synthesereaktor betrieben werden, so dass ein oder mehrere Syntheseprodukte ebenfalls gespeichert werden können. Alternativ kann der elektrolytisch gebildete Wasserstoff aber auch gespeichert werden. Entsprechend kommt der zweite Betriebsmodus vor allem dann zum Einsatz, wenn wenig elektrische Energie zur Verfügung steht und von den Verbrauchern vergleichs-

weise viel elektrische Leistung abgerufen wird. In diesem zweiten Betriebsmodus kann bei den Ausführungsformen mit einer Rückgewinnung von Kohlenstoffdioxid aus der Verbrennung auch der optional vorhandene Speicher für flüssiges Kohlenstoffdioxid befüllt werden.

[0034] Ein Wärmetauscher, der zur Kühlung des Sauerstoffs bei gleichzeitiger Erwärmung eines anderen Prozessmediums ausgebildet ist, kommt dabei zweckmäßig vor allem beim ersten Betriebsmodus zum Einsatz. Ein Wärmetauscher, der zur Erwärmung des Sauerstoffs bei gleichzeitiger Kühlung eines anderen Prozessmediums ausgebildet ist, kommt entsprechend vor allem beim zweiten Betriebsmodus zum Einsatz. Wesentlich im Zusammenhang mit der Erfindung ist aber nur, dass insgesamt wenigstens ein Wärmetauscher im Stoffstrom des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs vorliegt. Die beiden beschriebenen Betriebsmodi müssen sich im Übrigen nicht unbedingt ausschließen. So sind auch Übergangsphasen denkbar, in denen z.B. die Elektrolyse und die Speicherung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs noch aktiv sind und der Betrieb der Verbrennungskraftmaschine gerade hochgefahren wird oder umgekehrt.

[0035] Nachfolgend wird die Erfindung anhand einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die angehängten Zeichnungen beschrieben, in denen:

Figur 1 eine schematische Prinzipskizze eines Energiesystems nach einem ersten Beispiel der Erfindung zeigt,

Figur 2 ein zweites Beispiel für ein Energiesystem zeigt, welches einen Synthesereaktor umfasst,

Figur 3 ein drittes Beispiel für ein Energiesystem mit einem alternativen Synthesereaktor zeigt,

Figur 4 ein viertes Beispiel für ein Energiesystem zeigt und

Figuren 5 und 6 zwei verschiedene Betriebszustände des Energiesystems nach dem vierten Beispiel zeigen.

[0036] In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0037] In Figur 1 ist eine schematische Prinzipskizze eines Energiesystems 1 nach einem ersten Beispiel der Erfindung gezeigt. Diese Prinzipskizze ist stark vereinfacht und zeigt nur die wesentlichen Komponenten. Das Energiesystem 1 umfasst einen Elektrolyseur 10, mit welchem Wasser H_2O elektrolytisch in Sauerstoff O_2 und Wasserstoff H_2 gespalten werden kann. Dies geschieht unter Aufnahme von elektrischer Energie E , welche beispielsweise aus einer erneuerbaren Energiequelle stammen kann oder in Zeitphasen kostengünstiger Strompreise aus dem Elektrizitätsnetz stammt. Das Wasser H_2O kann dem Elektrolyseur 10 in deionisierter Form zugeführt werden. Der elektrolytisch gebildete Wasserstoff H_2 kann auf verschiedene Weise genutzt werden. Beispielsweise kann er innerhalb des Energie-

systems 1 als Edukt für eine chemische Synthese verwendet werden oder er kann in einem Wasserstoffspeicher gespeichert werden, um an einem anderen Ort weiterverwendet zu werden, z.B. als Brennstoff für eine Brennstoffzelle, oder in ein Wasserstoffnetz eingespeist werden. Der elektrolytisch gebildete Sauerstoff wird dagegen in einem Sauerstoffspeicher 31 in verflüssigter Form zwischengespeichert, um innerhalb desselben Energiesystems 1 verwendet zu werden. Hierzu wird der Sauerstoff auf eine kryogene Temperatur gekühlt, also auf eine Temperatur unterhalb seines Siedepunkts bei Normaldruck.

[0038] Das Energiesystem 1 umfasst außerdem eine Verbrennungskraftmaschine 40 und einen mit ihr gekoppelten Generator 41. In der Verbrennungskraftmaschine 40 kann ein Brennstoff F verbrannt werden, welcher aus einem Brennstoffspeicher 60 zugeführt wird. Dabei kann es sich z.B. um einen flüssigen oder einen gasförmigen Brennstoff handeln. Es kann ein fossiler Brennstoff wie Erdgas oder Erdöl sein oder auch ein Brennstoff aus erneuerbaren Quellen wie z.B. Biogas oder ein synthetischer Brennstoff. Der Brennstoff kann auch ein Synthesegas mit den Hauptkomponenten Wasserstoff H_2 , Kohlenstoffmonoxid CO und Kohlenstoffdioxid CO_2 aus der thermochemischen Umwandlung (insbesondere einer Vergasungsreaktion, englisch "gasification") eines heizwerthaltigen kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffes mit einer summarischen Zusammensetzung $C_xH_yO_zN_uSi_v$ mit reinem Sauerstoff O_2 und Wasserdampf H_2O sein. Der Brennstoff F kann allgemein insbesondere kohlenstoffhaltig sein. Der Generator 41 ist über die Verbrennungskraftmaschine 40 antreibbar, so dass bei der Verbrennung des Brennstoffs über den Generator 41 elektrische Leistung für einen Verbraucher bereitgestellt werden kann. Es wird also in diesem Teil des Energiesystems die chemische Energie des Brennstoffs F in elektrische Energie E umgewandelt. Die Verbrennung innerhalb der Verbrennungskraftmaschine 40 wird nach dem Oxyfuel-Verfahren durchgeführt, so dass als Oxidationsgas OG ein Gas mit einem besonders hohen Sauerstoffgehalt zum Einsatz kommt. Der Sauerstoff O_2 für dieses Oxidationsgas wird dabei (zumindest teilweise) dem beschriebenen kryogenen Sauerstoffspeicher 31 entnommen, es handelt sich also um elektrolytisch gewonnenen Sauerstoff. Durch den unbeschrifteten Pfeil im rechten Teil der Abbildung soll angedeutet sein, dass dem Oxidationsgas OG neben diesem Sauerstoff O_2 noch ein weiterer Bestandteil beigemischt sein kann, insbesondere Kohlenstoffdioxid.

[0039] Das erfindungsgemäße Energiesystem 1 zeichnet sich dadurch aus, dass der elektrolytisch gewonnene Sauerstoff O_2 in verflüssigter Form gespeichert wird und dass bei der Abkühlung des Sauerstoffs auf eine kryogene Temperatur und/oder bei der Erwärmung des Sauerstoffs von der kryogenen Temperatur ein Wärmetauscher zum Einsatz kommt. Rein exemplarisch sind in Figur 1 zwei solche Wärmetauscher 21 und 22 gezeigt, nämlich ein erster 21 im Pfad der Sauerstoff-Abkühlung

und ein zweiter 22 im Pfad der Sauerstoff-Erwärmung. Zur Realisierung der Erfindung ist es jedoch allgemein ausreichend, wenn nur in einem dieser beiden Pfade ein Wärmetauscher zum Einsatz kommt.

5 **[0040]** Der Wärmetauscher 21 wird zum einen von ursprünglich warmem Sauerstoff O_2 und zum anderen von einem weiteren Prozessmedium PM durchströmt, welches ursprünglich kälter ist als der einströmende warme Sauerstoff. Es kann sich also insbesondere um
10 ein fluides (also flüssiges und/oder gasförmiges) Prozessmedium PM handeln, welches vorteilhaft eine weitere Funktion innerhalb des Energiesystems 1 erfüllt. Der Sauerstoff O_2 wird auf seinem Weg durch den Wärmetauscher abgekühlt und zwar vorteilhaft auf eine tiefkalte
15 Temperatur von $-35^\circ C$ oder weniger. Es ist auch möglich, dass der Sauerstoff in diesem Wärmetauscher 21 auf eine kryogene Temperatur unterhalb seines Siedepunkts abgekühlt wird und somit bereits im Wärmetauscher 21 kondensiert. Dies kann jedoch nur mit bestimmten kryogenen Prozessmedien und insbesondere mit flüssigem
20 Stickstoff als Prozessmedium PM erreicht werden. Die Abkühlung des Sauerstoffs auf eine kryogene Temperatur bereits im Wärmetauscher 21 ist auch nicht zwingend erforderlich. Um eine hohe Energieeffizienz beim Betrieb
25 des Energiesystems 1 zu erreichen, ist es ausreichend, wenn der Sauerstoff in diesem Wärmetauscher 21 auf eine tiefkalte Temperatur vorgekühlt wird und dann in einem hier nicht explizit dargestellten weiteren Schritt verflüssigt wird.

30 **[0041]** Der Wärmetauscher 22 wird zum einen von ursprünglich kaltem Sauerstoff O_2 und zum anderen von einem weiteren Prozessmedium PM durchströmt, welches ursprünglich wärmer ist als der einströmende kalte Sauerstoff. Es kann sich auch hierbei insbesondere
35 um ein fluides Prozessmedium handeln, welches vorteilhaft eine weitere Funktion innerhalb des Energiesystems 1 erfüllt. Der Sauerstoff O_2 wird auf seinem Weg durch den Wärmetauscher von einer tiefkalten Temperatur auf eine höhere Temperatur erwärmt, wobei das ursprünglich kalte
40 Temperaturniveau zur Kühlung des Prozessmediums PM genutzt wird. Es ist auch möglich, dass der Sauerstoff in diesem Wärmetauscher 22 von seiner verflüssigten Form verdampft. Optional kann das zu kühlende Prozessmedium darin kondensieren und insbesondere
45 verflüssigt werden, was eine anschließende Speicherung dieses Prozessmediums erleichtert.

[0042] Das Energiesystem 1 gemäß Figur 1 kann in zwei verschiedenen Betriebsmodi betrieben werden. Der erste Betriebsmodus kommt dann zum Tragen, wenn
50 z.B. in einem übergeordneten Stromnetz viel elektrische Energie E zur Verfügung steht. Dann wird der Elektrolyseur 10 mit dieser Energie E betrieben, und der gebildete Sauerstoff wird im Sauerstoffspeicher 31 gespeichert. Bei dem ersten Betriebsmodus sind also die Komponenten in der linken Hälfte der Figur 1 aktiv. Umgekehrt
55 kommt der zweite Betriebsmodus dann zum Tragen, wenn die von den Verbrauchern benötigte elektrische Energie das Angebot aus sonstigen Quellen übersteigt.

Dann wird die Verbrennungskraftmaschine 40 betrieben, wobei der damit gekoppelte Generator 41 elektrische Leistung für die Verbraucher bereitstellt. Dies erfolgt unter Verwendung von Sauerstoff aus dem Sauerstoffspeicher 31. Beim zweiten Betriebsmodus sind also die Komponenten in der rechten Hälfte der Figur 1 aktiv. Zumindest in einer dieser Hälften und damit auch bei einem der beiden Betriebsmodi kommt dabei ein Wärmetauscher 21 und/oder 22 im Sauerstoff-Pfad zum Einsatz.

[0043] In Figur 2 ist eine ähnliche Prinzipskizze eines Energiesystems 1 nach einem zweiten Beispiel der Erfindung gezeigt. Dieses Energiesystem 1 basiert auf der grundlegenden Ausführung der Figur 1 und ist um einige optionale Komponenten erweitert. So wird der elektrolytisch gebildete Wasserstoff H_2 hier einem Synthesereaktor 71 als Edukt zugeführt. Dazu kann der Wasserstoff H_2 bei Bedarf mit einem Kompressor 90 verdichtet werden. Als weiteres Edukt wird dem Synthesereaktor 71 Kohlenstoffdioxid CO_2 zugeführt. Es läuft also eine kohlenstoffbasierte Synthese ab, bei der das Kohlenstoffdioxid durch den Wasserstoff reduziert wird, wodurch in diesem Beispiel ein synthetischer Kraftstoff gebildet wird. Allgemein kann es sich bei dem Syntheseprodukt um eine Verbindung mit der Summenformel $C_nH_mO_z$ handeln bzw. das Syntheseprodukt kann ein oder mehrere Verbindungen mit einer solchen Summenformel umfassen, wobei zugegebenfalls auch 0 sein kann. Der gebildete Kraftstoff EF kann in einem Kraftstoffspeicher 81 gespeichert werden. Das Kohlenstoffdioxid, das dem Synthesereaktor 71 zugeführt wird, wird beim Beispiel der Figur 2 aus der Verbrennung zurückgewonnen und im Anschluss daran in einem Kohlenstoffdioxidspeicher 32 gespeichert. Zur Speicherung wird das Kohlenstoffdioxid verflüssigt und dazu auf eine tiefkalte Temperatur z.B. im Bereich von etwa $-50\text{ }^\circ\text{C}$ gebracht. Dieses tiefkalte Kohlenstoffdioxid wird durch einen Wärmetauscher 21a geströmt und dort erwärmt, wobei der ebenfalls durch diesen Wärmetauscher 21a strömende Sauerstoff abgekühlt wird. Bei der Temperatur von flüssigem Kohlenstoffdioxid findet hier allerdings noch keine Verflüssigung des Sauerstoffs statt, sondern nur eine starke Kühlung. Die Verflüssigung auf dem weiteren Weg zum Sauerstoffspeicher 31 kann daher bei diesem Beispiel durch eine weitere und hier nicht gesondert dargestellte Vorrichtung erfolgen. Insgesamt sind auch hier beim ersten Betriebsmodus die Komponenten in der linken Hälfte der Figur 2 aktiv.

[0044] Beim zweiten Betriebsmodus dagegen sind die Komponenten in der rechten Hälfte der Figur aktiv, und in der Verbrennungskraftmaschine 41 wird wiederum Brennstoff 60 verbrannt. Dies kann optional (zumindest teilweise) der synthetische Kraftstoff EF sein, der im ersten Betriebsmodus aus dem Wasserstoff und dem Kohlenstoffdioxid hergestellt wurde. Alternativ kann jedoch auch ein Brennstoff F aus anderen Quellen eingesetzt werden. Das bei der Verbrennung gebildete Rauchgas RG wird hier in eine Rückgewinnungsvorrichtung 50

geleitet, in der das im Rauchgas enthaltene Kohlenstoffdioxid zurückgewonnen wird. Diese Rückgewinnungsvorrichtung 50 kann insbesondere eine Entfeuchtungsvorrichtung beinhalten, um bei der Verbrennung erzeugtes Wasser aus dem Rauchgas zu entfernen. Das rückgewonnene Kohlenstoffdioxid kann nun auf verschiedene Weise verwertet werden, wobei das Verhältnis der beiden Verwertungspfade ggf. auch während des Prozesses angepasst werden kann. So kann die Rückgewinnungsvorrichtung 50 einen Anschluss für eine kalte Teilstromentnahme umfassen, mit der vergleichsweise kaltes Kohlenstoffdioxid entnommen wird und in einem ersten Pfad mit dem in Richtung der Maschine 40 strömenden Sauerstoff gemischt wird, wodurch das der Verbrennung zugeführte Oxidationsgas OG gebildet wird. Das Mischungsverhältnis dieser beiden Komponenten im Oxidationsgas OG kann dabei wiederum an die sonstigen Randbedingungen der Verbrennung angepasst werden und insbesondere im Verlauf des Prozesses variiert werden. Z.B. kann ein Gärgas oder Synthesegas als Brennstoff F zum Einsatz kommen, bei dem bereits Kohlenstoffdioxid enthalten ist. Dieses Kohlenstoffdioxid muss aus dem Gärgas oder Synthesegas nicht entfernt werden, sondern die Menge an zusätzlich zugeführtem Kohlenstoffdioxid kann jeweils so angepasst werden, dass insgesamt die gewünschte Konzentration und z.B. die gewünschte Flammentemperatur und Leistungserzeugung bei der Verbrennung erreicht wird.

[0045] Für den zweiten Verwertungspfad wird das Kohlenstoffdioxid z.B. bei einem vergleichsweise höheren Temperaturniveau aus der Rückgewinnungsvorrichtung 50 entnommen und zunächst mit einem Kompressor 90 verdichtet und dann dem Wärmetauscher 22 als weiteres Prozessmedium zugeführt. In den Wärmetauscher 22 strömt dabei ursprünglich warmes Kohlenstoffdioxid und ursprünglich kalter Sauerstoff ein, wobei der Sauerstoff erwärmt und das Kohlenstoffdioxid abgekühlt wird. Der einströmende Sauerstoff kann dabei insbesondere noch verflüssigt sein oder allgemeiner gesagt bei einer tiefkalten Temperatur vorliegen. Dabei kann das Kohlenstoffdioxid aufgrund der Wärmeübertragung verflüssigt werden, was insbesondere bei einem Druck oberhalb von 5,2 bar möglich ist. Im Bereich des Auslasses für verflüssigtes Kohlenstoffdioxid kann der Wärmetauscher 22 vorteilhaft eine Entgasungsvorrichtung aufweisen, mit welcher Sauerstoff und andere leichter siedende Verunreinigungen wie z.B. auch Stickstoff und Edelgase aus dem flüssigen Kohlenstoffdioxid entfernt werden können. Das verflüssigte Kohlenstoffdioxid wird dann dem Kohlenstoffdioxidspeicher 32 zugeführt, aus dem es wie beschrieben im ersten Betriebsmodus verbraucht werden kann.

[0046] In Figur 3 ist eine ähnliche Prinzipskizze eines Energiesystems 1 nach einem dritten Beispiel der Erfindung gezeigt. Auch dieses Energiesystem 1 basiert auf der grundlegenden Ausführung der Figur 1 und ist um einige optionale Komponenten erweitert. Ähnlich wie beim Beispiel der Figur 2 wird auch hier Kohlenstoffdioxid

aus dem Rauchgas RG der Verbrennung zurückgewonnen und teils dem Oxidationsgas OG zugeführt und teils anderweitig verwendet. Diese anderweitige Verwendung ist der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt, aber es kann auch hier eine Verflüssigung des Kohlenstoffdioxids im Wärmetauscher 22 stattfinden. Auch bei diesem Beispiel wird der elektrolytisch erzeugte Wasserstoff H_2 im ersten Betriebsmodus in einer wasserstoffbasierten Synthese verwertet. Hierzu wird der Wasserstoff einem Synthesereaktor 72 zugeführt, welcher in diesem Beispiel zur Synthese von Ammoniak NH_3 ausgestaltet ist und entsprechend mit Stickstoff N_2 als weiterem Edukt gespeist wird. Optional können diesem Synthesereaktor 72 weitere Komponenten vorgelagert sein, wie z.B. ein Reaktor zur katalytischen Reaktion, in dem ein Restgehalt von Sauerstoff im einströmenden Wasserstoff durch katalytische Reaktion mit Wasserstoff und Auskondensieren des gebildeten Wassers entfernt wird. Das gebildete Ammoniak NH_3 wird in einem Ammoniakspeicher 82 gespeichert, dem ggf. weitere Komponenten zur Reinigung, Verdichtung und/oder Kühlung des gebildeten Ammoniaks vorgeschaltet sein können. Auch hier kann z.B. ein Wärmetauscher zum Einsatz kommen, mit welchem der Ammoniak auf eine tiefkalte Temperatur abgekühlt wird und ein weiteres Prozessmedium erwärmt wird, wodurch eine Speicherung des Ammoniaks in verflüssigter Form ohne einen zusätzlichen Kompressor ermöglicht wird.

[0047] Zur Abkühlung des elektrolytisch gebildeten Sauerstoffs umfasst das Energiesystem der Figur 3 einen Wärmetauscher 21b, in welchen flüssiger Stickstoff N_2 aus einem Stickstoffspeicher 33 als weiteres Prozessmedium einströmt. Dabei wird der ursprünglich flüssige Stickstoff im Wärmetauscher 21b erwärmt und der ursprünglich warme Sauerstoff wird auf eine tiefkalte Temperatur abgekühlt, wodurch er optional bereits im Wärmetauscher 21b kondensieren kann. Dies ermöglicht vorteilhaft eine Verflüssigung des elektrolytisch gebildeten Sauerstoffs ohne einen zusätzlichen Kompressor auf dem Weg zum Sauerstoffspeicher 31. Der eingeströmte flüssige Stickstoff N_2 verdampft im Wärmetauscher und wird danach dem Synthesereaktor 72 als Edukt zugeführt, so dass sich auch für dieses Prozessmedium eine Doppelverwendung ergibt. Optional kann zumindest ein Teil des verdampften Stickstoffs wieder über einen Kompressor 90 verdichtet und als flüssiger Stickstoff erneut dem Stickstoffspeicher 33 in einem geschlossenen Kreislauf zugeführt werden. Für diesen Zweck ist der Kompressor 90 im Stickstoff-Pfad zweckmäßig als Hochdruck-Verdichter ausgestaltet, wobei das komprimierte Gas auf eine verhältnismäßig tiefe Temperatur z.B. zwischen -30 °C und -50 °C nachgekühlt wird. Im Anschluss daran findet eine Expansion statt, welche entweder adiabatisch oder ggf. über eine Expansionsturbine geführt werden kann und schließlich zur Verflüssigung des Stickstoffs führt. Diese erneute Verflüssigung kommt vor allem dann in Betracht, wenn mehr flüssiger Stickstoff im Wärmetauscher 21b benötigt wird als danach in der Ammo-

niaksynthese verbraucht wird. In ähnlicher Weise kann der Stickstoff bei anderen Ausführungsformen in einem geschlossenen Kältemittelkreislauf recycelt werden, bei denen kein Reaktor zur Ammoniaksynthese vorliegt.

[0048] In Figur 4 ist eine ähnliche Prinzipskizze eines Energiesystems 1 nach einem vierten Beispiel der Erfindung gezeigt, in welchem die zusätzlichen Komponenten der beiden vorhergehenden Beispiele vereinigt sind. Zusammengefasst wird hier also sowohl eine kohlenstoffbasierte Synthese im Synthesereaktor 71 durchgeführt als auch eine stickstoffbasierte Synthese im Synthesereaktor 72. Der elektrolytisch erzeugte Sauerstoff O_2 wird hier mit zwei aufeinanderfolgenden Wärmetauschern 21a und 21b sequentiell heruntergekühlt und dabei im zweiten Wärmetauscher 21b verflüssigt. Dabei dient aus der Verbrennung rückgewonnenes Kohlenstoffdioxid CO_2 als weiteres Prozessmedium des ersten Wärmetauschers 21a und flüssiger Stickstoff N_2 wird als weiteres Prozessmedium in den zweiten Wärmetauscher eingeleitet. Beide Stoffe werden nach dem Durchlauf durch den jeweiligen Wärmetauscher in den jeweiligen Synthesereaktoren als Edukt eingesetzt. Zur besseren Übersicht ist der Stoffstrom des Kohlenstoffdioxids hier gestrichelt dargestellt. Die Rückgewinnung und weitere Verwendung des Kohlenstoffdioxids erfolgt dabei analog wie beim Beispiel der Figur 2. Zum besseren Verständnis dieses vierten Ausführungsbeispiels sind in Figur 5 nur diejenigen Komponenten dargestellt, die beim ersten Betriebsmodus aktiv sind, und in Figur 6 sind nur diejenigen Komponenten dargestellt, die beim zweiten Betriebsmodus aktiv sind.

[0049] Allgemein optional können die dargestellten Energiesysteme jeweils noch weitere Komponenten umfassen, beispielsweise zusätzliche Kühl- bzw. Erwärmungsvorrichtungen, Verdichter, Kondensationsstufen, Entfeuchtungsstufen und/oder Reinigungsstufen. Beispielsweise kann das rückgewonnene Kohlenstoffdioxid von Verunreinigungen befreit werden, welche im Synthesereaktor 71 stören würden, wie z.B. Sauerstoff und Schwefel. Der im Wärmetauscher 21b verdampfte Stickstoff kann von Verunreinigungen befreit werden, welche im Synthesereaktor 72 stören würden, wie z.B. Schwefel, Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid. Weiterhin können die elektrolytisch erzeugten Gase Sauerstoff und Wasserstoff jeweils zunächst einen Tropfenabscheider zur Entfeuchtung durchlaufen. Diese Tropfenabscheider können jeweils mit einem Kühlwasserkreislauf verbunden sein, mit welchem insbesondere auch die Synthesereaktoren gekühlt werden können. Das Kühlwasser kann dafür beispielsweise eine Temperatur von wenigen Grad über dem Gefrierpunkt aufweisen. Die Kälte aus diesem Kühlwasserkreislauf kann auch in eine Gebäudekühlung eingekoppelt werden und eine konventionelle Klimaanlage mit Kompressor entlasten. Das Energiesystem kann zusätzlich eine hier nicht dargestellte Wärmepumpe oder eine andere Heizvorrichtung umfassen, mit der bestimmte Komponenten für den Betrieb erwärmt werden können, beispielsweise der optio-

nal vorhandene Reaktor zur katalytischen Reaktion von Rest-Sauerstoff mit Wasserstoff, bevor der Wasserstoff der Ammoniaksynthese zugeführt wird. Als Wärmereservoir kann dabei der Elektrolyseur 10, die Verbrennungskraftmaschine 40 und/oder einer der Synthesereaktoren 71, 72 dienen, bei deren Betrieb jeweils thermische Energie freigesetzt wird, so dass hier eine Entwärmung zweckmäßig ist. Tiefkalte Gasströme können allgemein auch weiter genutzt werden, z.B. zum Ausfrieren von Wasser aus Sauerstoff oder Kohlenstoffdioxid vor deren Verflüssigung oder auch zur Bereitstellung von Kühlleistung für einen Verbraucher, z.B. für eine Gebäudekühlung.

[0050] Die Anmelderin weist an dieser Stelle darauf hin, dass unabhängig vom grammatikalischen Geschlecht eines bestimmten personenbezogenen Begriffs stets Personen mit männlicher, weiblicher und anderer Geschlechteridentität mit umfasst sein sollen.

Bezugszeichenliste

[0051]

1	Energiesystem
10	Elektrolyseur
21	Wärmetauscher zur Sauerstoff-Kühlung
21a	(erster) Wärmetauscher
21b	(zweiter) Wärmetauscher
22	Wärmetauscher zur Sauerstoff-Erwärmung
31	Sauerstoffspeicher
32	Kohlenstoffdioxidspeicher
33	Stickstoffspeicher
40	Verbrennungskraftmaschine
41	Generator
50	Rückgewinnungsvorrichtung
60	Brennstoffspeicher
71	Synthesereaktor für kohlenstoffbasierte Synthese
72	Synthesereaktor für stickstoffbasierte Synthese
81	Speicher für synthetischen Kraftstoff
82	Ammoniakspeicher
90	Kompressor
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
E	elektrische Energie
EF	synthetischer Kraftstoff
F	Brennstoff
H ₂ O	Wasser
H ₂	Wasserstoff
N ₂	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
O ₂	Sauerstoff
OG	Oxidationsgas
PM	anderes Prozessmedium
RG	Rauchgas

Patentansprüche

1. Energiesystem (1) zur Bereitstellung von elektri-

scher Leistung für wenigstens einen Verbraucher, umfassend:

- einen Elektrolyseur (10) zur elektrolytischen Zerlegung von Wasser (H₂O) in Sauerstoff (O₂) und Wasserstoff (H₂) unter Einsatz von elektrischer Energie (E),
- einen Sauerstoffspeicher (31) zur Speicherung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs (O₂) in verflüssigter Form bei einer kryogenen Temperatur,
- eine Verbrennungskraftmaschine (40) und einen mittels der Verbrennungskraftmaschine (40) angetriebenen Generator (41) zur Bereitstellung von elektrischer Leistung durch Verbrennung eines Brennstoffs (F) in einem Oxyfuel-Verfahren, bei welchem der elektrolytisch erzeugte Sauerstoff (O₂) eingesetzt wird, sowie
- wenigstens einen Wärmetauscher (21,22) zur Übertragung von thermischer Energie zwischen dem elektrolytisch erzeugten Sauerstoff (O₂) und wenigstens einem anderen Prozessmedium (PM), wobei der Wärmetauscher (21,22) dazu ausgelegt ist, wenigstens in einem Teilbereich bei einer tiefkalten Temperatur von -35 °C oder weniger betrieben zu werden.

2. Energiesystem (1) nach Anspruch 1, bei welchem wenigstens einer der vorliegenden Wärmetauscher (21,22) dazu ausgebildet ist, wenigstens in einem Teilbereich von elektrolytisch erzeugtem flüssigem Sauerstoff (O₂) durchströmt zu werden.

3. Energiesystem (1) nach Anspruch 1 oder 2, bei welchem wenigstens einer der vorliegenden Wärmetauscher (21) zur Kühlung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs (O₂) auf eine tiefkalte Temperatur ausgestaltet ist, wobei das zu erwärmende Prozessmedium (PM) entweder flüssiger Stickstoff (N₂) oder flüssiges Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist.

4. Energiesystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem wenigstens einer der Wärmetauscher (22) zur Erwärmung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs (O₂) von einer tiefkalten Temperatur ausgestaltet ist, wobei das zu kühlende Prozessmedium (PM) Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist.

5. Energiesystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem wenigstens einer der vorliegenden Wärmetauscher (21,22) ein gemäß einem additiven Herstellungsverfahren gefertigter Wärmetauscher ist.

6. Energiesystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend:

- wenigstens einen Synthesereaktor (71,72) zur

- Erzeugung wenigstens eines Syntheseprodukts (EF, NH_3) aus dem elektrolytisch erzeugten Wasserstoff (H_2) und wenigstens einem weiteren Edukt (CO_2, N_2).
7. Energiesystem (1) nach Anspruch 6, welches einen Synthesereaktor (71) umfasst, der zur Umsetzung von Wasserstoff (H_2) mit Kohlenstoffdioxid (CO_2) als weiterem Edukt ausgebildet ist. 5
8. Energiesystem (1) nach einem der Ansprüche 6 oder 7, bei welchem der Synthesereaktor (71) zur Bildung eines kohlenstoffbasierten synthetischen Kraftstoffs (EF) ausgebildet ist. 10
9. Energiesystem (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, welches einen Synthesereaktor (72) zur Bildung von Ammoniak (NH_3) umfasst, wobei der Synthesereaktor (72) zur Umsetzung von Wasserstoff (H_2) mit Stickstoff (N_2) als weiterem Edukt ausgebildet ist. 20
10. Energiesystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Verbrennungskraftmaschine (40) eine Kraft-Wärme-gekoppelte Maschine ist, mit welcher zusätzlich zum Antreiben des Generators (41) Wärmeleistung für einen Verbraucher bereitstellbar ist. 25
11. Energiesystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Verbrennungskraftmaschine (40) mit einer Vorrichtung (50) zur Rückgewinnung von Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus dem bei der Verbrennung gebildeten Rauchgas (RG) in Verbindung steht. 30 35
12. Energiesystem (1) nach Anspruch 11, bei welchem die Verbrennungskraftmaschine (40) zur Verbrennung des Brennstoffs (F) mit einem Gemisch aus elektrolytisch erzeugtem Sauerstoff (O_2) und aus dem Rauchgas (RG) rückgewonnenen Kohlenstoffdioxid (CO_2) ausgelegt ist. 40
13. Energiesystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Verbrennungskraftmaschine (40) zur stickstofffreien Verbrennung des Brennstoffs (F) ausgelegt ist. 45
14. Energiesystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches zwischen einem ersten und einem zweiten Betriebsmodus umschaltbar ist, wobei der erste Betriebsmodus dazu dient, 50
- Wasser (H_2O) mittels des Elektrolyseurs (10) unter Einsatz von elektrischer Energie (E) in Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) zu zerlegen, 55
 - und Sauerstoff (O_2) in verflüssigter Form im Sauerstoffspeicher (31) zu speichern, und wobei der zweite Betriebsmodus dazu dient,
- Brennstoff (F) in der Verbrennungskraftmaschine (40) im Oxyfuel-Verfahren zu verbrennen, wobei der Generator (41) von der Verbrennungskraftmaschine (40) angetrieben wird und mit dem Generator (41) elektrische Leistung bereitgestellt wird und elektrolytisch erzeugter Sauerstoff (O_2) aus dem Sauerstoffspeicher (31) verbraucht wird.
15. Verfahren zur Bereitstellung von elektrischer Leistung für wenigstens einen Verbraucher, umfassend die folgenden Schritte:
- a) elektrolytische Zerlegung von Wasser (H_2O) in Sauerstoff (O_2) und Wasserstoff (H_2) unter Einsatz von elektrischer Energie (E),
 - b) Speicherung des elektrolytisch erzeugten Sauerstoffs (O_2) in verflüssigter Form bei einer kryogenen Temperatur,
 - c) Verbrennung eines Brennstoffs (F) in einem Oxyfuel-Verfahren, bei welchem der elektrolytisch erzeugte Sauerstoff (O_2) eingesetzt wird, innerhalb einer Verbrennungskraftmaschine (40) und Bereitstellung von elektrischer Leistung mittels eines an die Verbrennungskraftmaschine (40) gekoppelten Generators (41),
- wobei mit einem Wärmetauscher (21,22) thermische Energie zwischen dem elektrolytisch erzeugten Sauerstoff (O_2) und wenigstens einem anderen Prozessmedium (PM) übertragen wird, wobei der Wärmetauscher (21,22) wenigstens in einem Teilbereich bei einer tiefkalten Temperatur von -35 °C oder weniger betrieben wird.

FIG 1

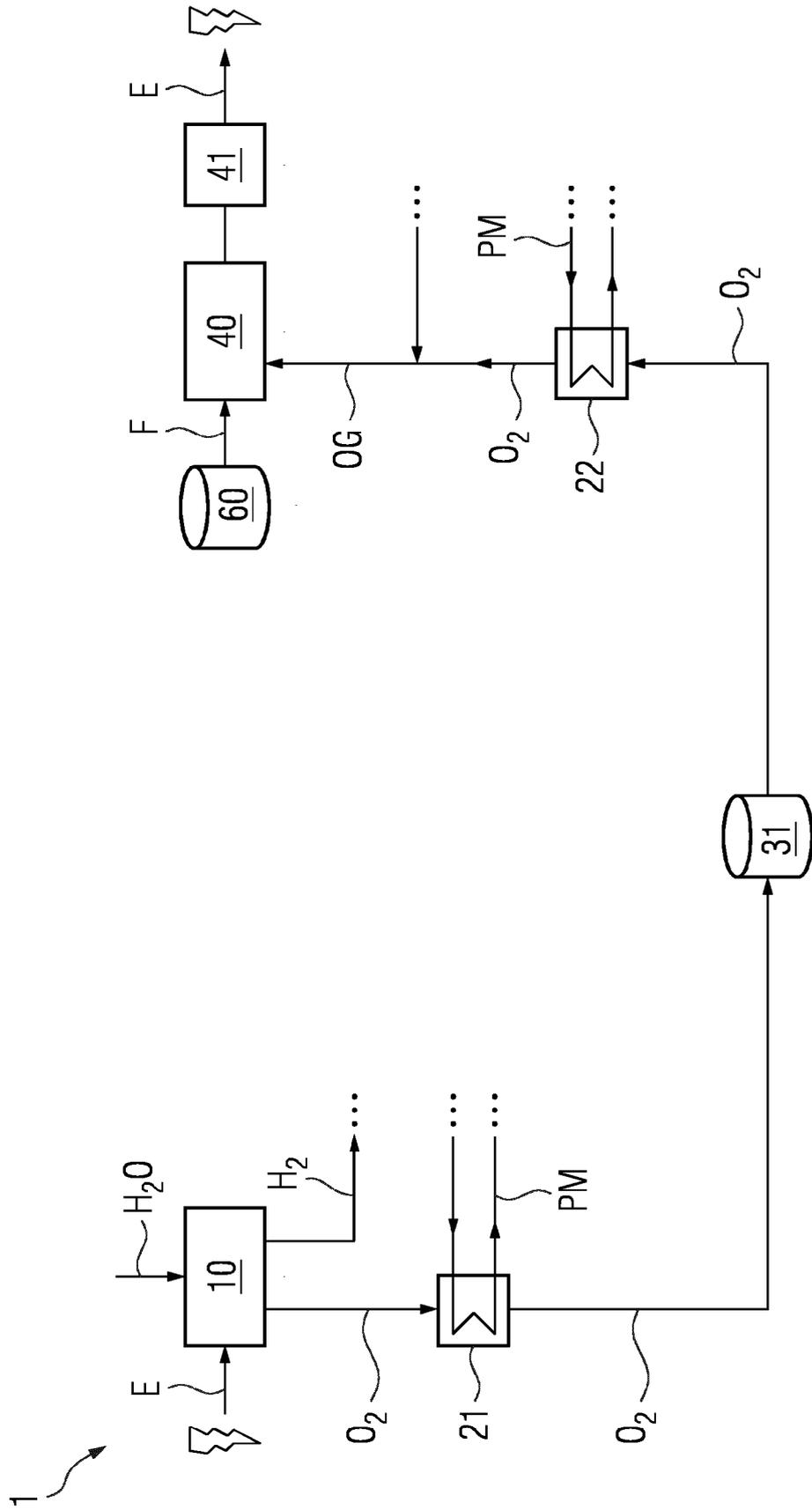


FIG 2

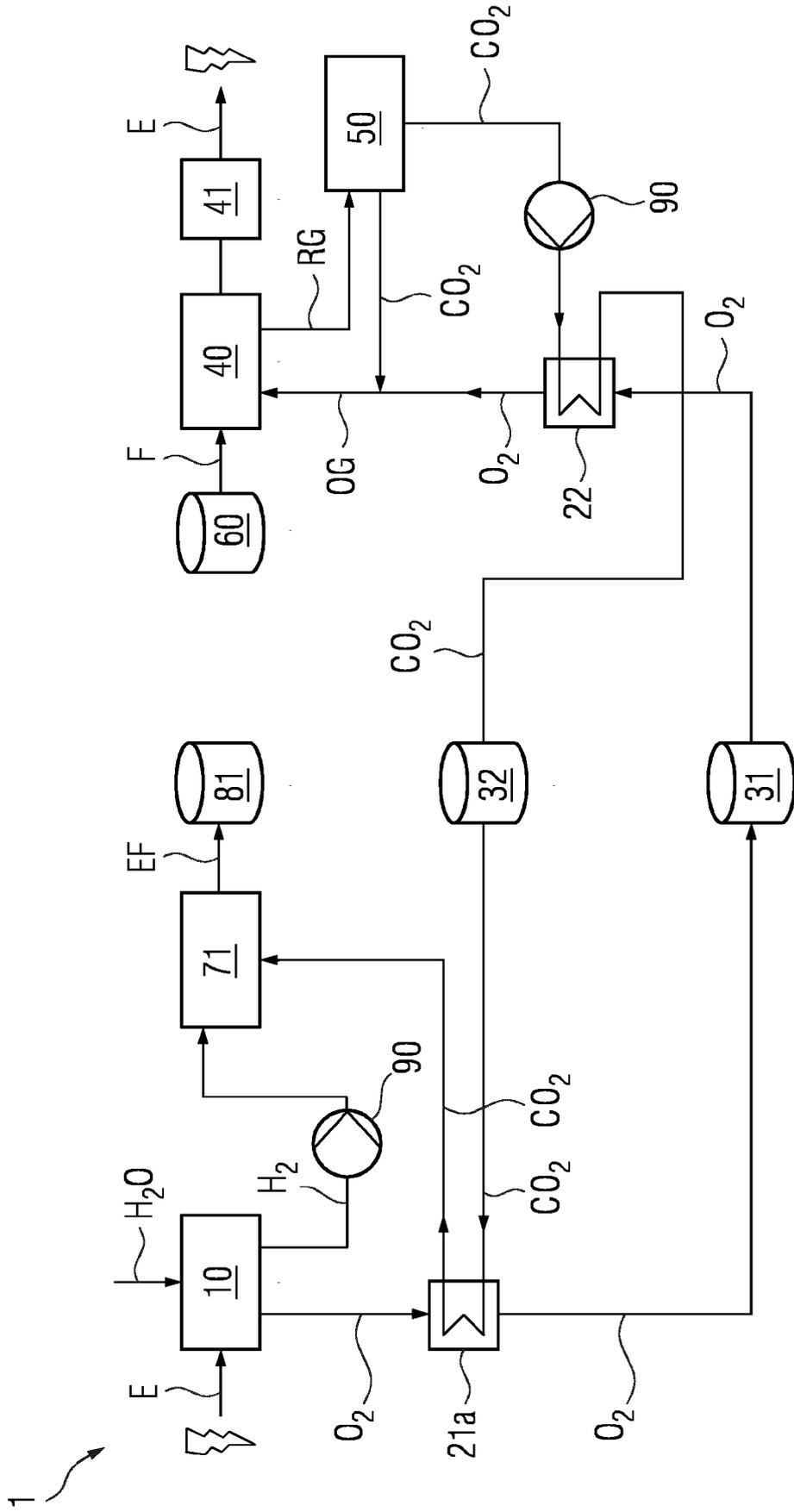


FIG 3

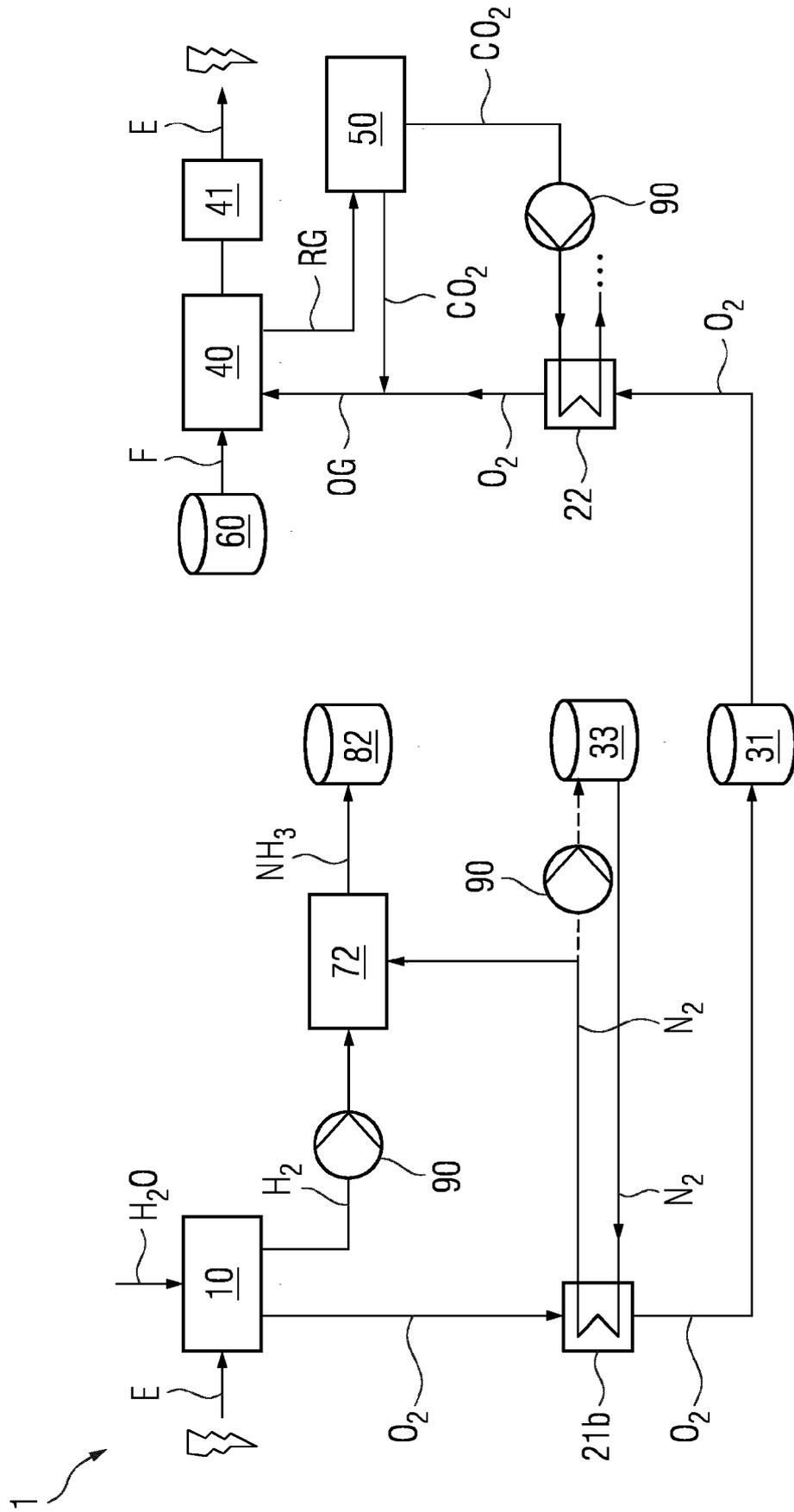


FIG 4

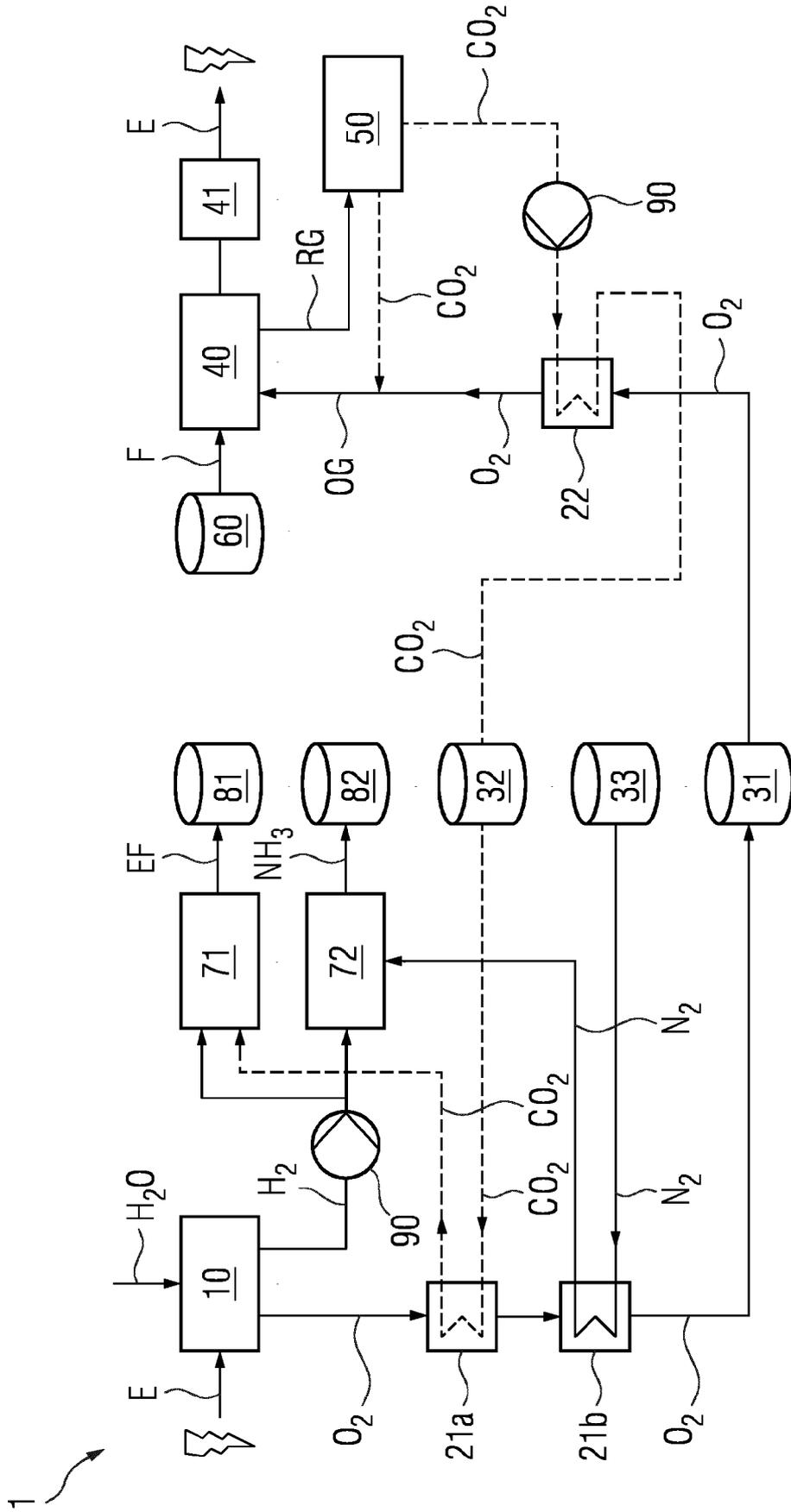


FIG 5

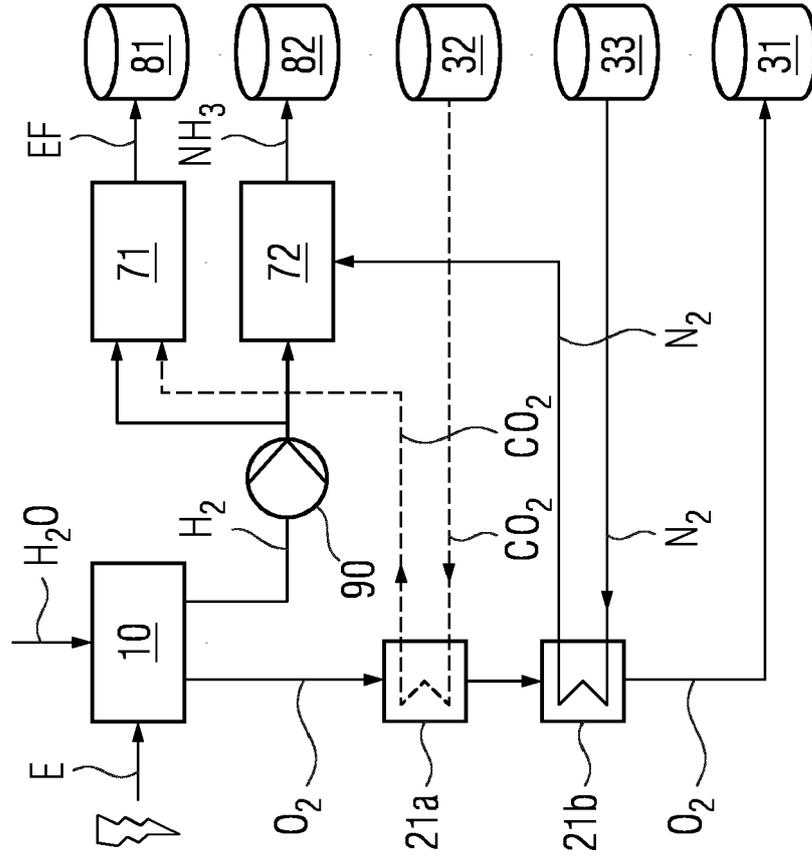
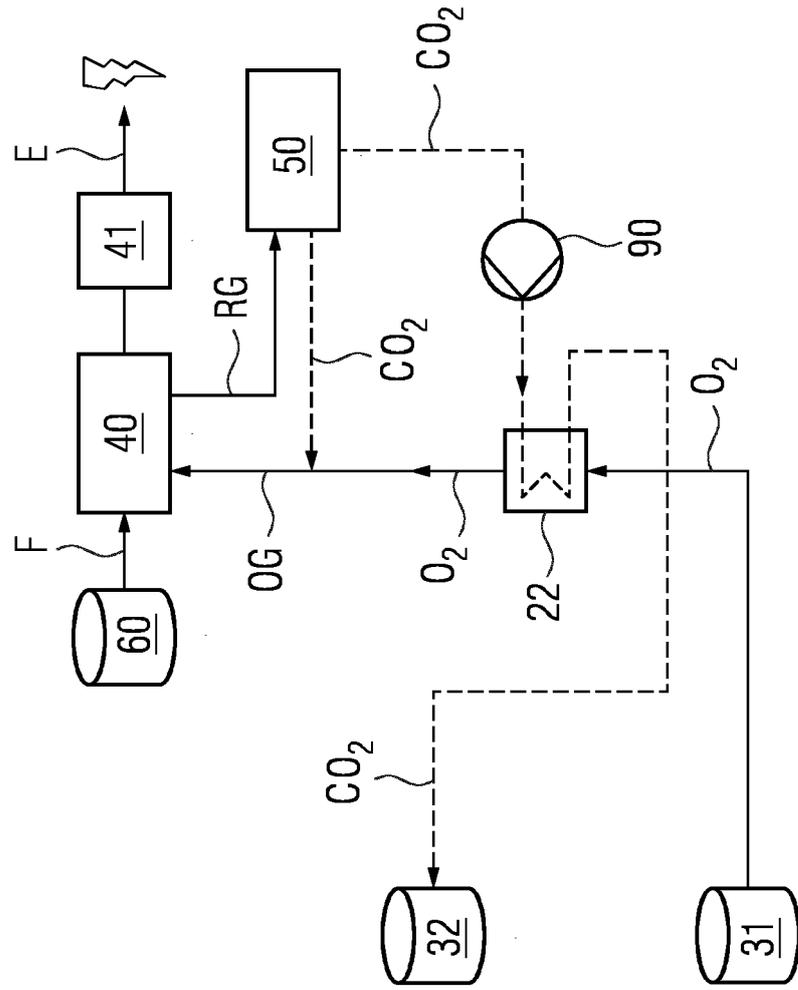


FIG 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 20 9081

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2019 216764 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 6. Mai 2021 (2021-05-06) * Zusammenfassung; Ansprüche 1-28; Abbildungen 1-2; Beispiele 1-2 * * Absatz [0047] - Absatz [0066] * * Absatz [0087] - Absatz [0096] * -----	1-15	INV. C25B1/04 C25B15/08 F02B43/10
X	EP 2 426 236 A1 (CARBON CLEAN TECHNOLOGIES AG [DE]) 7. März 2012 (2012-03-07) * Zusammenfassung; Ansprüche 1-10; Abbildung 1 * * Absatz [0022] - Absatz [0025] * * Absatz [0037] - Absatz [0042] * -----	1-15	
X	WO 2013/171107 A2 (MAIR CHRISTIAN [AT]) 21. November 2013 (2013-11-21) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-2 * * Seite 3 - Seite 8 * -----	1-15	
X	US 2023/228463 A1 (VERNET JEAN-PHILIPPE GEORGES [FR]) 20. Juli 2023 (2023-07-20) * Zusammenfassung; Abbildungen 3, 4 * * Absatz [0089] - Absatz [0115] * -----	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C25B F02B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. Juni 2024	Prüfer Leu, Oana
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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 23 20 9081

5 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.

10-06-2024

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102019216764 A1	06-05-2021	DE 102019216764 A1	06-05-2021
		EP 4028489 A1	20-07-2022
		WO 2021083897 A1	06-05-2021

EP 2426236 A1	07-03-2012	CN 103298976 A	11-09-2013
		DK 2426236 T3	15-04-2013
		EP 2426236 A1	07-03-2012
		ES 2402398 T3	03-05-2013
		US 2013214542 A1	22-08-2013
		WO 2012028326 A1	08-03-2012

WO 2013171107 A2	21-11-2013	AT 511941 A4	15-04-2013
		WO 2013171107 A2	21-11-2013

US 2023228463 A1	20-07-2023	AU 2021267010 A1	01-12-2022
		BR 112022022386 A2	13-12-2022
		CA 3180531 A1	11-11-2021
		CL 2022002892 A1	16-06-2023
		CN 115516262 A	23-12-2022
		CO 2022015852 A2	29-11-2022
		EP 4146996 A1	15-03-2023
		FR 3109986 A1	12-11-2021
		IL 297876 A	01-01-2023
		JP 2023527118 A	27-06-2023
		KR 20230006899 A	11-01-2023
		US 2023228463 A1	20-07-2023
		WO 2021224574 A1	11-11-2021
ZA 202213081 B	30-08-2023		

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Simulation Based Techno-Economic Evaluation of Self-sufficient Microgrid Systems with Renewable Energy and Power-to-X. **Z. ZHANG et al.** IRES 2022, AHE. 2023, vol. 16, 551-562 **[0002]**