



(10) **DE 10 2019 112 229 A1** 2020.11.12

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 112 229.5**

(22) Anmeldetag: **10.05.2019**

(43) Offenlegungstag: **12.11.2020**

(51) Int Cl.: **F24H 7/00 (2006.01)**

F24H 1/10 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147 Köln, DE; Kraftanlagen München GmbH,
80339 München, DE**

(72) Erfinder:

**Bauer, Thomas, Dr., 50672 Köln, DE; Waldmann,
Barbara, Dr., 86179 Augsburg, DE; Andlauer,
Felix, Trollhättan, SE**

(74) Vertreter:

**advotec. Patent- und Rechtsanwälte, 80538
München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

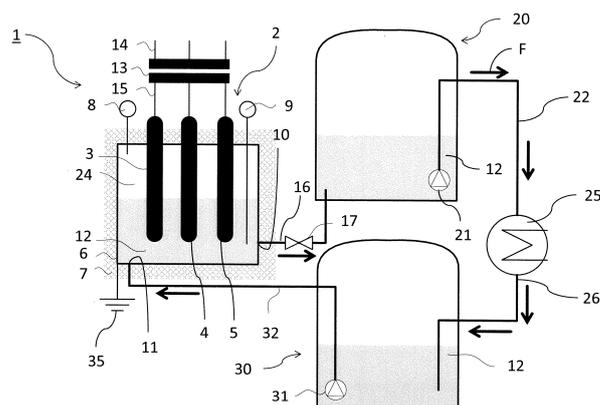
DE	10 2017 114 404	A1
DE	20 2009 009 942	U1
CN	202 470 425	U

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Durchlauferhitzer, Vorrichtung mit Durchlauferhitzer und Anlage mit Vorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Durchlauferhitzer (2) zum Erhitzen eines sich im Erhitzer (2) befindlichen Flüssigsalzes (12), Vorrichtungen (1) aufweisend wenigstens einen Durchlauferhitzer (2) und eine Anlage aufweisend wenigstens eine Vorrichtung (1).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Durchlauferhitzer. Ferner betrifft die Erfindung Vorrichtungen aufweisend wenigstens einen Durchlauferhitzer. Überdies betrifft die Erfindung eine Anlage aufweisend wenigstens eine Vorrichtung.

[0002] Nach dem Stand der Technik sind Durchlauferhitzer bekannt, bei denen ein Elektroerhitzer zum Aufheizen eines Flüssigsalzes oder anderen korrosiven Medien verwendet wird. Nach dem Stand der Technik werden mineralisierte Heizleiter für diese Erhitzer genutzt. Bei diesen Heizleitern ist die metallische Außenhülle elektrisch vom ihnen liegenden Heizleiter getrennt. Als elektrisches Hochtemperaturisulationsmaterial wird z.B. gepresstes Magnesiumoxidpulver genutzt. Die Wärmestromdichte dieser Erhitzer ist durch das Magnesiumoxidpulver begrenzt, da dieses nicht nur elektrisch isoliert, sondern auch eine geringe thermische Leitfähigkeit hat. Die Kosten dieser Durchlauferhitzer werden insbesondere durch den Behälterbau, die Vielzahl der Elektroheizstäbe und die Leistungselektronik, die zur Regelung der Leistung erforderlich ist, bestimmt. Durch eine entsprechend parallele oder sequentielle Verschaltung der Elektroerhitzer ist eine größere Leistung erzielbar.

[0003] Bei den Durchlauferhitzern aus dem Stand der Technik gibt es Einschränkungen hinsichtlich der Salzzersetzung an den Grenzflächen, da die Salze auf eine Endtemperatur nahe der Salzzersetzung erhitzt werden und kleinere Temperaturunterschiede zwischen einer Wand des Erhitzers und der Salzschnmelze erforderlich sind. Nur durch eine ausreichend große Wärmeübertragungsfläche kann eine Übertemperatur und eine Zersetzung bei Erhitzung vermieden werden. Es ist beispielsweise erforderlich, das Flüssigsalz auf ca. 560°C zu erhitzen, wobei die Zersetzung bereits ab ca. 600°C beginnt.

[0004] Das Vorsehen der Leistungselektronik, der Heizstäbe und der modular eingesetzten Behälter bei großen Leistungen ist bei den Salzerhitzern nach dem Stand der Technik mit einem hohen Kostenaufwand verbunden. Die maximale Baugröße ist durch Flanschverbindungen und Rohrdurchmesser beschränkt. Für höhere Leistungen müssen daher mehrere Erhitzer eingesetzt werden. Es ist nachteilig, dass hierdurch nur eine geringe Kostendegression für höhere Leistungen möglich ist. Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile zu überwinden.

[0005] Diese Aufgabe wird durch einen Durchlauferhitzer mit den Merkmalen des Anspruchs 1, durch eine Vorrichtung aufweisend wenigstens einen Durchlauferhitzer mit den Merkmalen des Anspruchs 21,

durch eine weitere Vorrichtung aufweisend wenigstens einen Durchlauferhitzer mit den Merkmalen des Anspruchs 22, sowie durch eine Anlage aufweisend wenigstens eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 23 gelöst.

[0006] Der erfindungsgemäße Durchlauferhitzer dient dem Erhitzen eines Flüssigsalzes, das sich in einem einen Flüssigsalzauslass und einen Flüssigsalzeinlass aufweisenden Behälter befindet, wobei der Erhitzer

- wenigstens drei Elektroden zur Erzeugung eines Stromflusses im Volumen des Flüssigsalzes aufweist oder
- eine Vorrichtung zur Erzeugung eines elektromagnetischen Feldes im Volumen des Flüssigsalzes aufweist oder
- eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellen im Volumen des Flüssigsalzes aufweist,

wobei die Elektroden, die Vorrichtung zur Erzeugung des elektromagnetischen Feldes und die Vorrichtung zur Erzeugung der Mikrowellen flüssigsalzkontaktierend im Behälter angeordnet sind.

[0007] Mit anderen Worten soll im Vergleich zum Stand der Technik der Wärmeeintrag bzw. die Erhitzung nicht über eine Wand von außen eingetragen werden, sondern vielmehr wird der Wärmeeintrag bzw. die Erhitzung im Flüssigsalzvolumen direkt erzeugt, nämlich über die Elektroden, die einen jouleschen Wärmeeintrag in das Flüssigsalz leisten, oder durch Induktion, erzeugt mittels eines elektromagnetischen Feldes im Flüssigsalz, oder durch Einkopplung von Mikrowellen in das Flüssigsalz.

[0008] Unter einem Durchlauferhitzer kann ein Flüssigsalzerhitzer, ein Flüssigsalzlösungserhitzer oder ein Salzerhitzer verstanden werden. Der Durchlauferhitzer wird mittels Elektrizität betrieben und kann als Elektroerhitzer betrachtet werden. Unter einem Flüssigsalz kann entweder eine wasserfreie Salzschnmelze oder eine mit Wasser versetzte Salzlösung verstanden werden. Unter dem Flüssigsalz kann auch eine Mischung aus Flüssigsalzen verstanden werden. Die Salzschnmelze oder die Salzlösung kann bereits erhitzt sein, bevor sie vom Erhitzer weiter erhitzt wird. Die Salzschnmelze bleibt unter Hitzeeinwirkung eine Salzschnmelze. Die Salzlösung kann unter Hitzeeinwirkung eine Salzlösung bleiben oder zur Salzschnmelze werden.

[0009] Unter einem Flüssigsalzeinlass kann eine an einem Behälter oder einer Wand des Erhitzers angeordnete Einlassöffnung für Flüssigsalz verstanden werden. Unter einem Flüssigkeitssalzauslass kann eine an einem Behälter oder einer Wand des Erhitzers angeordnete Auslassöffnung für Flüssigsalz verstanden werden. Unter „flüssigsalzkontaktierend“ ist

ein Kontakt mit dem Flüssigsalz zu verstehen. Mit anderen Worten sind bspw. die Elektroden zumindest teilweise in das Flüssigsalz getaucht.

[0010] Unter einer Vorrichtung zur Erzeugung eines elektromagnetischen Feldes, insbesondere eines Induktionsfeldes, kann eine Vorrichtung verstanden werden, die induktive Wirbelströme erzeugt. Hierdurch lässt sich auf einfache Weise Strom in Wärme umwandeln.

[0011] Unter einer Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellen kann ein Mikrowellengerät verstanden werden.

[0012] Durch das Vorsehen des Durchlauferhitzers zum Erhitzen eines sich im Erhitzer befindlichen Flüssigsalzes mittels der wenigstens drei Elektroden, des Induktionsfeldes oder der Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellen, ist es auf einfache Weise möglich, das Flüssigsalz schnell und kostengünstig zu erhitzen. Im Vergleich zum Stand der Technik kann z.B. ein einziger großer Behälter genutzt werden und die Vielzahl der Einzelheizdrähte kann auf drei Elektroden verringert werden. Der Aufwand für die Leistungselektroinstallation verringert sich dadurch ebenfalls (z.B. weniger Anschlussdrähte, Verteilkästen). Insbesondere für große Erhitzer entfällt die modulare Bauweise und es ist mit einer großen Kostendegression für große (z.B. einige MW) Elektroerhitzer zu rechnen.

[0013] Vorzugsweise ist der Behälter ein metallischer Behälter, insbesondere ein Stahlbehälter. Bevorzugt ragen die Elektroden in den Behälter. Besonders bevorzugt weist der Behälter einen Deckel auf. Die Elektroden können deckelseitig angeordnet sein, wobei die Elektroden von oben in den Behälter hineinragen. Alternativ können die Elektroden an einer Behälterwand angeordnet sein, wobei die Elektroden von der Behälterwand in den Behälter hineinragen. Der Behälter wird im geschlossenen Zustand betrieben. Der Behälter kann mit einem Nullpotential (Erdung) gegenüber den Elektroden betrieben werden. Vorzugsweise werden mindestens drei Elektroden genutzt. Bevorzugt liegt eine Wechselspannung an den Elektroden (Dreiphasenwechselstrom) an. Gleichspannung würde zur Elektrolyse führen.

[0014] Besonders bevorzugt sind die Elektroden im Behälter als Dreieckschaltung oder als Sternschaltung ausgebildet. Die Elektroden können voneinander beabstandet und entsprechend ihrer Längserstreckung parallel zueinander im Erhitzer angeordnet sein oder ein Dreieck aufspannend, versetzt zueinander im Erhitzer angeordnet sein. Durch das Vorsehen der Schaltungen ist der Widerstand maximierbar. Mit der Sternschaltung ist ein noch höherer Widerstand erzielbar als mit der Dreieckschaltung.

[0015] Durch das Vorsehen einer Dreieckschaltung oder wenigstens einer, bevorzugt zweier, paralleler Sternschaltungen kann das Flüssigsalz am Ein- und Austritt des Erhitzers ein vernachlässigbares elektrisches Potential aufweisen, sodass es nahezu potentialfrei ist.

[0016] Vorzugsweise sind die Elektroden Platten oder Stäbe. Mit anderen Worten sind die Elektroden plattenförmig oder stabförmig ausgebildet. Damit sind die Elektroden einfach herzustellende Bauteile.

[0017] Durch das Vorsehen der Platten oder Stäbe kann die Leistungsdichteverteilung im Flüssigsalzvolumen berücksichtigt werden, z.B. tritt bei Stabelektroden die höchste Leistungsdichte an der Staboberfläche auf. Lokale Überhitzungen durch hohe Leistungsdichten sind hierdurch vermeidbar.

[0018] Weiter bevorzugt wird ein Widerstand zwischen den Elektroden durch einen Flüssigsalzkanal erzeugt, wobei das Verhältnis von Kanalvolumen zu Elektrodenvolumen mindestens 10/1 beträgt. Vorzugsweise kann das Verhältnis im Bereich von 10/1 bis 50/1 betragen. Hierdurch lässt sich der Widerstand erhöhen.

[0019] Weiter bevorzugt wird ein Flüssigsalzmassenstrom innerhalb des Durchlauferhitzers von einem Flüssigsalzkanal auf mindestens zwei Flüssigsalzkanäle aufgeteilt und wieder zu einem Flüssigsalzkanal zusammengeführt.

[0020] Besonders bevorzugt ist zur Erhöhung des elektrischen Widerstands eines Flüssigsalzkanals eine zusätzlich elektrisch isolierende Schüttung angeordnet. Hierdurch ist weitere eine Erhöhung des elektrischen Widerstands erzielbar.

[0021] Vorzugsweise weist der Durchlauferhitzer einen Transformator zur Herabsetzung der Spannung an den Elektroden auf. Bevorzugt ist der Transformator eingerichtet, eine Hochwechselspannung, die dem Transformator von außerhalb zugeführt wird, in eine von den Elektroden benötigte Niederwechselspannung überzuführen bzw. umzuwandeln.

[0022] Bevorzugt sind die Elektroden elektrisch leitfähige Keramiken, intermetallische Verbindungen, Metalle oder Metalllegierungen.

[0023] Als elektrisch leitfähige Keramiken können insbesondere Siliziumkarbidverbindungen verwendet werden. Als intermetallische Verbindungen werden insbesondere Molybdändisilizidverbindungen eingesetzt. Als Metalle eignen sich insbesondere Chrom-Nickel-Legierungen, hochwarmfeste Stähle, Nickel-Basislegierungen oder Molybdän. Vorzugsweise sind die Elektroden flüssigsalzresistent. Bevorzugt sind die Elektroden oxidationsbestän-

dig. Besonders bevorzugt weisen die Elektroden eine elektrische Leitfähigkeit auf, die größer ist als die des Flüssigsalzes. Weiter bevorzugt weisen die Elektroden eine thermoschockresistente mechanische Festigkeit auf.

[0024] Weiter bevorzugt umfasst der Erhitzer eine Isolierung, wobei die Isolierung außerhalb des Behälters und/oder innerhalb des Behälters angeordnet ist.

[0025] Die Isolierung kann ein isolierendes Material, beispielsweise Keramik sein. Bevorzugt ist die Isolierung Feuerstein. Aufgrund der relativ hohen elektrischen Leitfähigkeit von Flüssigsalz können durch das Vorsehen der Isolierung als konstruktive Maßnahme die Wege im Flüssigsalz verlängert werden.

[0026] Besonders bevorzugt ist die Isolierung eine thermische und/oder elektrische Isolierung.

[0027] Vorzugsweise weist eine thermische und elektrische Isolierung elektrisch isolierendes Salz innerhalb der Isolierung auf. Dabei ist das Salz erstarrt. Durch Wärmeverluste kann ein Temperaturgradient innerhalb der Isolierung geeignet eingestellt werden, so dass das Salz innerhalb der Isolierung erstarrt und eine thermische und elektrische Isolierung bildet.

[0028] Weiter bevorzugt weist die Isolierung zur Reduzierung einer Fall- und/oder Fließgeschwindigkeit des Flüssigsalzes und/oder zur Erhöhung des elektrischen Widerstands des Volumens des Flüssigsalzes zwischen den Elektroden eine Schüttung auf. Als Schüttung können insbesondere Edelstahl, Keramik, Gesteinsschüttung oder ein Verbundmaterial mit einer Porosität kleiner 50% eingesetzt werden.

[0029] Die Schüttung kann auch zu einer Verringerung der elektrischen Leitfähigkeit des erhitzten Volumens durch Reduktion der Salzmenge führen. Die relative hohe elektrische Leitfähigkeit von Flüssigsalz (ca. $100 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$) resultiert in niedrigen Spannungen und hohen Strömen, so dass es erstrebenswert ist die elektrische Leitfähigkeit des erhitzten Volumens zwischen den Elektroden herabzusetzen. Dies kann durch konstruktive Maßnahmen (Salzkanäle) oder inerte Schüttungen gegenüber der Salzschmelze erreicht werden.

[0030] Zur Homogenisierung der Temperatur des Flüssigsalzes und zur Vermeidung von Übertemperaturen nahe der Elektrodenoberfläche, kann eine geeignete Formgebung mit freier Konvektion oder eine geeignete Formgebung mit erzwungener Konvektion verwendet werden. Die erzwungene Konvektion kann beispielsweise durch eine angepasste Strömungsführung beim Einleiten des kalten Flüssigsalzes auf die Elektrodenflächen erfolgen, durch Einblasen von Gasen, die zu einer Durchmischung an den Elektroden führen oder durch Rühren des Flüssigsal-

zes. Beispielsweise kann die Elektrode als Rohr ausgeführt werden, in die das Flüssigsalz einströmen und durch kleinere Löcher im Rohr wieder ausströmen kann. Dadurch wird eine gute Durchmischung an der Rohraußenseite bzw. Oberfläche erreicht.

[0031] Die Elektroden können weiterhin so ausgeführt sein, dass parasitäre Ströme an den Elektroden durch „kriechendes“ Salz vermieden werden. Flüssigsalz hat die Eigenschaft viele Oberflächen gut zu benetzen. Auch gegen die Schwerkraft können so Salzfilme an den Elektrodenoberflächen entstehen die parasitäre ungewünschte Ströme hervorrufen können. Diese Ströme können durch elektrische Isolatoren (z.B. Keramik im Hochtemperaturbereich) vermieden oder minimiert werden. Auch im Bereich der Behälterwand können elektrische Isolatoren eingesetzt werden um einen direkten Stromfluss zwischen Elektrode und Behälterwand zu vermeiden. Vorzugsweise werden Transformatoren zur Herabsetzung der Spannung genutzt, wie eingangs beschrieben. Aufgrund der relativ hohen elektrischen Leitfähigkeit des Flüssigsalzes können auch niedrige Spannungen genutzt werden.

[0032] Besonders bevorzugt weist der Erhitzer einen Füllstandmesser, einen Temperaturmesser und/oder mindestens einen Aktor auf. Mittels des Temperaturmessers lässt sich die Temperatur des Flüssigsalzes auf einfache Weise bestimmen. Mittels des Füllstandmessers lässt sich die Füllstandhöhe des Flüssigsalzes im Erhitzer auf einfache Weise feststellen. Ein erster Aktor kann eine Pumpe sein und ein zweiter Aktor kann ein Ventil sein. Mittels der Pumpe ist ein Flüssigsalzmassenstrom regelbar. Mittels des Ventils ist der Füllstand und damit die Leistung regelbar. Vorzugsweise sind der Massenstrom und die Temperatur am Flüssigsalzauslass einstellbar bzw. regelbar. Bevorzugt sind der Massenstrom und der Füllstand getrennt voneinander einstellbar bzw. regelbar.

[0033] Bevorzugt ist der Durchlauferhitzer eingerichtet, eine Leistung des Durchlauferhitzers über den Füllstand des Flüssigsalzes zu regeln und/oder das Flüssigsalz durch ein Ablassventil des Durchlauferhitzers über Schwerkraft abzuführen. Mittels des Ablassventils kann der Erhitzer bei Betriebsstörungen über Schwerkraft auf einfache Weise entleert werden.

[0034] Bei einem hohen Füllstand (bzw. hohem Bedeckungsgrad der Elektroden und niedriger Widerstand des Salzvolumens) kann ein hoher Strom fließen, wobei eine hohe Leistung einbringbar ist. Bei niedrigem Füllstand kann sich ein höherer Widerstand des Flüssigsalzes zwischen den Elektroden einstellen, wobei eine niedrigere Leistung eingekoppelt werden kann. Dabei können die Elektroden örtlich am Erhitzer befestigt sein. Wie oben beschrieben, können die Elektroden mit einer geeigneten Geome-

trie ausgeführt werden, z. B. Platten oder Stäbe. Ein unterschiedlicher Abstand zwischen den Elektroden bei unterschiedlichem Füllstand lässt sich alternativ durch schräg angeordnete oder geformte Elektroden erzielen.

[0035] Im Vergleich zum Stand der Technik wird die Leistungselektronik durch eine Füllstandregelung mit dem Füllstandmesser ersetzt. Der Füllstand lässt sich über Pumpen und/oder Ventile auf einfache Weise regeln (z.B. Regelung des Füllstand und somit der Leistung über ein Flüssigsalzventil am Auslass). Der Erhitzer kann so ausgeführt sein, dass sowohl die Leistung /Füllstand als auch der Massenstrom unabhängig eingestellt werden können (z.B. Pumpendrehzahl). Über die Korrelation $P = m_p \cdot c_p \cdot \text{salz} \cdot (\text{Taus} - \text{Tein})$ kann somit auch eine geeignete Temperaturerhöhung eingestellt werden, wobei P die Leistung des Erhitzer ist, m_p der Salzmassenstrom, Taus die Salzaustrittstemperatur und Tein die Salzeintrittstemperatur.

[0036] Vorzugsweise ist das Flüssigsalz im festen Zustand elektrisch isolierend. Bevorzugt ist das Flüssigsalz wasserfrei.

[0037] Besonders bevorzugt weist das Flüssigsalz eine Leitfähigkeit im Bereich von 10 bis 1000 $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ bei Temperaturen im Bereich von -50°C bis 800°C auf. Für Salzschnmelzen ist der Bereich vorzugsweise 150°C bis 800°C und für Salzlösungen -50°C bis 800°C . Flüssigsalz eignet sich gut zur thermischen Energiespeicherung, da sie eine hohe Wärmekapazität (z.B. 1,5 kJ/(kgK) für Solarsalz 60 Gew.-% NaNO₃ und 40 Gew.-% KNO₃) und eine hohe Dichte in der flüssigen Phase aufweisen (z.B. 1700 bis 1900 kg/m³ für Solarsalz). Weiterhin ist Flüssigsalz kostengünstig und kann in einem breiten Temperaturbereich eingesetzt werden (z.B. 280 bis 560 °C für Solarsalz), so dass geringe spezifische Speicherkosten erzielt werden können (z.B. €/kWh).

[0038] Beispielsweise kann eine Sternschaltung der Elektroden in Rechteckstabform genutzt werden. Der Widerstand ergibt sich zu: $R = 1 / (\sigma A)$.

[0039] Wie eingangs erwähnt, kann das Flüssigsalz eine wasserfreie Salzschnmelze oder eine mit Wasser versetzte Salzlösung sein. Das Flüssigsalz kann als Mischung bzw. Salzmischung vorliegen. Eine mit Wasser versetzte Salzlösung kann eine Salzwassermischung sein.

[0040] Vorzugsweise werden als Flüssigsalz Salze oder Salzlösungen der Nitrate, der Nitrite, der Chloride, der Bromide, der Fluoride, der Iodide, der Sulfate, der Hydroxide, der Oxide, und/oder der Carbonate verwendet oder Mischungen hiervon. Diese Salze und Salzmischungen können wasserfrei oder mit Wasser eingesetzt werden.

[0041] Vorzugsweise wird Flüssigsalz eingesetzt, das günstige Eigenschaften zur Wärmespeicherung aufweist, das kostengünstig ist, nicht brennbar ist und/oder nicht toxisch ist, sowie einen niedrigen Dampfdruck aufweist. Damit können drucklose Behälter verwendet werden sowie übliche Stähle als Behälter- und Rohrleitungswerkstoffe. Bevorzugt wird ein Flüssigsalz eingesetzt, das günstige thermische Eigenschaften, wie hohe Wärmekapazität, hohe Dichte und eine niedrige Viskosität aufweist.

[0042] Bevorzugt werden als Flüssigsalz Nitrat- und/oder Nitritsalze in Mischungen aus Kaliumnitrat, Natriumnitrat, Calciumnitrat, Lithiumnitrat und/oder Natriumnitrit verwendet. Nachfolgende Mischungen werden bevorzugt verwendet:

- Kaliumnitrat und Natriumnitrat, vorzugsweise 40 Gew.-% Kaliumnitrat und 60 Gew.-% Natriumnitrat, bekannt als „Solarsalz“,
- Kaliumnitrat, Natriumnitrat und Calciumnitrat,
- Kaliumnitrat, Lithiumnitrat, optional mit Natriumnitrat oder
- Kaliumnitrat, Natriumnitrat und Natriumnitrit, vorzugsweise 53 Gew.-% Kaliumnitrat, 7 Gew.-% Natriumnitrat und 40 Gew.-% Natriumnitrit.

[0043] Weiter bevorzugt werden als Flüssigsalz Chloridsalze in wasserfreier und sauerstofffreier Atmosphäre in Mischungen aus Kalium-, Natrium-, Barium-, Calcium- und/oder Magnesiumchlorid verwendet. Das Flüssigsalz kann auch Mischungen aus Chlorid mit den Kationen aus wenigstens einer der Gruppen Kalzium, Kalium, Lithium, Barium, Strontium, Magnesium, Aluminium und/oder Zink sein.

[0044] Darüber hinaus kann der Durchlauferhitzer zum Entwässern von Restwasser eingerichtet sein.

[0045] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist wenigstens einen Durchlauferhitzer auf, wie oben beschrieben, sowie einen ersten Speicher, einen Wärmeübertrager, und einen zweiten Speicher, wobei

- der Erhitzer über eine erste Leitung mit dem ersten Speicher verbunden ist,
- der erste Speicher über eine zweite Leitung mit dem Wärmeübertrager verbunden ist,
- der Wärmeübertrager über eine dritte Leitung mit dem zweiten Speicher verbunden ist,
- der zweite Speicher über eine vierte Leitung mit dem Erhitzer verbunden ist.

[0046] Der erste Speicher kann als ein thermischer Speicher, insbesondere als ein Heißtank verstanden werden. Der zweite Speicher kann als ein thermischer Speicher, insbesondere als ein Kalttank ver-

standen werden. Der Wärmeübertrager kann als ein Dampferzeuger verstanden werden.

[0047] Ein sich im Heißtank befindliches Flüssigsalz kann, beispielsweise für Solarsalz, eine Temperatur von ca. 560°C aufweisen. Ein sich im Kalttank befindliches Flüssigsalz kann, beispielsweise für Solarsalz, eine Temperatur von 290°C aufweisen. Sowohl das sich im Erhitzer, im Heißtank und im Kalttank befindliche erhitzte Flüssigsalz kann als Salzschnmelze oder als Salzlösung verstanden werden. Vorzugsweise ist die erste Leitung am Flüssigsalzauslass des Durchlauferhitzers angeschlossen. Bevorzugt ist die vierte Leitung am Flüssigkeitseinlass des Durchlauferhitzers angeschlossen.

[0048] Durch das Vorsehen der Vorrichtung ist es möglich, eine Dampferzeugung auf einfache Weise zu bewerkstelligen. Vorzugsweise ist der Dampferzeuger an eine Turbine angeschlossen bzw. mit ihr gekoppelt. Vorzugsweise ist die Turbine an einen Generator zur Stromerzeugung gekoppelt, optional wird auch die Wärme genutzt (Kraftwärmekopplung).

[0049] Ferner weist die erfindungsgemäße Vorrichtung wenigstens einen Durchlauferhitzer auf, wie oben beschrieben, sowie einen Eintankspeicher mit zwei Kammern und eine diese Kammern trennende Schicht und einen Wärmeübertrager, wobei

- der Erhitzer über eine erste Leitung mit einer ersten Kammer des Eintankspeichers verbunden ist,
- die erste Kammer des Eintankspeichers über eine zweite Leitung mit dem Wärmeübertrager verbunden ist,
- der Wärmeübertrager über eine dritte Leitung mit einer zweiten Kammer des Eintankspeichers verbunden ist,
- die erste Kammer des Eintankspeichers über eine vierte Leitung mit dem Erhitzer verbunden ist.

[0050] Damit kann auch ein einzelner Tank mit einer Trennschicht eingesetzt werden, wobei sich heißes Flüssigsalz im oberen Bereich befindet und kaltes (weniger heißes) Flüssigsalz im unteren Bereich befindet. Der Eintankspeicher kann als ein thermischer Speicher verstanden werden.

[0051] Die erfindungsgemäße Anlage weist wenigstens eine der oben beschriebenen Vorrichtung auf. Dabei kann die Anlage mit weiteren Wärmequellen im Hybridbetrieb genutzt werden. Beispiele für weitere Wärmequellen sind: solarthermische Wärme, Abwärme, Verbrennungswärme aus fossilen oder erneuerbaren Quellen (Erdgas, Biogas, Windgas, Kohle, Biomasse, usw.). Beispielsweise kann in einem solarthermischen Kraftwerk zusätzlich ein Erhitzer,

wie oben beschrieben, und eine Photovoltaik-Anlage integriert werden. In einem CSP-PV-Hybridkraftwerke kann die solarthermische Wärme mit kostengünstigem PV-Strom über einen Erhitzer, wie oben beschrieben, weiter aufgewertet bzw. erhitzt werden. Dies ermöglicht es den PV-Strom kostengünstig in Wärmespeichern einzukoppeln, zu speichern und wieder im CSP-Kraftwerk in Strom zurück zu verwandeln.

[0052] Ferner kann die Anlage eine zentrale Anlage mit Kraft-Wärme-Kopplung sein. Die Wärme lässt sich kostengünstig in Flüssigsalz speichern. Volatiler Wind- und PV-Strom lässt sich über einen Erhitzer, wie oben beschrieben, in Wärme umwandeln und kostengünstig in Flüssigsalz speichern.

[0053] Außerdem kann die Anlage ein konventionelles Kraftwerk sein. Volatiler Wind- und PV-Strom lässt sich über einen Erhitzer, wie oben beschrieben, in Wärme umwandeln, speichern und rückverstromen (Strom-Wärme-Strom-Speicher). Der fossile Verbrauch und CO₂-Ausstoß lässt sich durch diese Stromspeichertechnologie senken.

[0054] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 2 eine alternative schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 3 eine schematische Ausführungsform eines Erhitzers der Vorrichtung aus **Fig. 1**;

Fig. 4 eine alternative schematische Ausführungsform eines Erhitzers;

Fig. 5 eine weitere alternative schematische Ausführungsform eines Erhitzers;

Fig. 6 einen Schnitt A-A durch den Erhitzer aus **Fig. 5**;

Fig. 7 eine weitere alternative schematische Ausführungsform eines Erhitzers;

Fig. 8 einen Schnitt B-B durch den Erhitzer aus **Fig. 7**;

Fig. 9 eine weitere alternative schematische Ausführungsform eines Erhitzers;

Fig. 10 eine schematische Ansicht einer Elektrode des Erhitzers;

Fig. 11 eine alternative Ausführungsform der Vorrichtung; und

Fig. 12 eine weitere alternative Ausführungsform der Vorrichtung.

[0055] In Fig. 1 ist eine Vorrichtung 1 mit einem Erhitzer 2, einem ersten Speicher 20, einem Wärmeübertrager 25 und einem zweiten Speicher 30 gezeigt. Der Erhitzer 2 ist als Durchlauferhitzer ausgebildet. Der erste Speicher 20 ist als Heißtank ausgebildet. Der Wärmeübertrager 25 ist als Dampferzeuger ausgebildet. Der zweite Speicher 30 ist als Kalt-tank ausgebildet.

[0056] Der Durchlauferhitzer 2, der dem Erhitzen eines sich im Erhitzer 2 befindlichen Flüssigsalzes 13 dient, weist einen Behälter 6 mit einem Flüssigsalzauslass 10 und einem Flüssigsalzeinlass 11 auf. Der Behälter 6 ist insbesondere als Stahlbehälter ausgebildet. Das Flüssigsalz 12 befindet sich im Behälter 6. Neben dem Flüssigsalz 12 befindet sich ein Gas 24, das beim Erhitzen der Salzlösung entsteht, im Behälter 6. Der Behälter 6 ist über eine Erdung 35 geerdet.

[0057] Der Erhitzer 2 weist wenigstens drei Elektroden 3, 4, 5 zur Erzeugung eines Stromflusses im Flüssigsalz 12 auf. Die Elektroden 3, 4, 5 sind an der Behälterwand 6, hier am Deckel, angeordnet. Dabei ragen die Elektroden 3, 4 und 5 wenigstens teilweise in das Flüssigsalz 12 hinein, sodass sich ein direkter Kontakt zwischen den Elektroden 3, 4 und 5 und dem Flüssigsalz 12 ergibt. Darüber hinaus ist eine Isolierung 7 an einer äußeren Mantelfläche des Behälters 6 angeordnet. Die außerhalb des Behälters 6 angeordnete Isolierung 7 dient der thermischen Isolierung. Die Isolierung ist bspw. Feuerstein.

[0058] Die Elektroden 3, 4, 5 sind als Stabelektroden ausgebildet. Alternativ können die Elektroden 3, 4, 5 auch plattenförmig sein (nicht gezeigt). Die Spannungsversorgung der Elektroden 3, 4, 5 erfolgt über einen Transformator 13. Der Transformator 13 ist vorzugsweise ein Teil des Erhitzers 2. Dabei ist der Transformator 13 eingerichtet, eine Hochwechselspannung 14 in eine Niederwechselspannung 15 zu transformieren. Zur Füllstandhöhenmessung des Flüssigsalzes 12 im Behälter 6 ist ein Füllstandmesser 8 vorgesehen. Zur Temperaturmessung des Flüssigsalzes 12 im Behälter 6 ist ein Temperaturmesser 9 vorgesehen.

[0059] Der Erhitzer 2 ist über eine erste Leitung 16 mit dem ersten Speicher 20 verbunden. Die erste Leitung 16 ist am Flüssigsalzauslass 10 des Durchlauferhitzers angeschlossen. Die erste Leitung 16 weist ein Ventil 17 auf. Das Ventil 17 ist als Regelventil ausgebildet, das in Abhängigkeit vom Füllstand oder der Temperatur des Flüssigsalzes 12 betätigbar ist. Die Leistung der Erhitzers 2 ist über den Füllstand des Flüssigsalzes 12 regelbar. Mittels einer Pumpe (nicht gezeigt) kann das Flüssigsalz 12 aus dem Erhitzer 2 gefördert werden. Ferner kann das Flüssigsalz 12 durch ein Ablassventil (vgl. Fig. 3) über Schwerkraft abgeführt werden.

[0060] Der erste Speicher 20 ist über eine zweite Leitung 22 mit dem Dampferzeuger 25 verbunden. Innerhalb des ersten Speichers 20 ist eine Pumpe 21 vorgesehen, die eingerichtet ist, Flüssigsalz 12 vom ersten Speicher 20 zum Dampferzeuger 25 zu fördern.

[0061] Der Dampferzeuger 25 ist über eine dritte Leitung 26 mit dem zweiten Speicher 30 verbunden. Der Dampferzeuger 25 kann bspw. an eine Turbine angeschlossen sei bzw. mit dieser gekoppelt sein. Der zweite Speicher 30 ist über eine vierte Leitung 32 mit dem Erhitzer 2 verbunden. Die vierte Leitung 32 ist am Flüssigkeitseinlass 11 des Durchlauferhitzers 2 angeschlossen. Innerhalb des zweiten Speichers 30 ist eine Pumpe 31 angeordnet, wobei die Pumpe 31 eingerichtet ist, Flüssigsalz 12 in Richtung zum Erhitzer 2 zu fördern.

[0062] Infolge Inbetriebnahme des Erhitzers 2 wird die anliegende Hochwechselspannung 14 vom Transformator in die Niederwechselspannung 15 umgewandelt, die an die Elektroden 3, 4, 5 abgegeben wird. Die Elektroden 3, 4, 5 heizen infolge des Spannungseintrags das Flüssigsalz 12 im Behälter 6 auf. Das Flüssigsalz 12 kann bereits erhitzt sein, bevor es vom Erhitzer 2 weiter erhitzt wird.

[0063] Das erhitzte Flüssigsalz 12 wird über die erste Leitung 16 vom Erhitzer 2 in Richtung F zum ersten Speicher 20 gefördert. Zur Förderung des Flüssigsalzes 12 vom Erhitzer 2 zum ersten Speicher 20 kann eine Pumpe (nicht gezeigt) eingesetzt werden. Im ersten Speicher 20 weist das erhitzte Flüssigsalz 12 eine Temperatur von ca. 560°C auf, wobei unterschiedliche Füllstände möglich sind. Mittels der Pumpe 21 wird das erhitzte Flüssigsalz 12 über die zweite Leitung 22 in Richtung zum Dampferzeuger 25 gefördert. Das erhitzte Flüssigsalz 12 gibt seine Wärme teilweise an den Dampferzeuger 25 ab.

[0064] Nachdem das Flüssigsalz 12 den Dampferzeuger 25 passiert hat, wird abgekühltes Flüssigsalz 12 über die dritte Leitung 26 dem zweiten Speicher 30 zugeführt. Im zweiten Speicher 30 weist das abgekühlte Flüssigsalz 12 eine Temperatur von ca. 290°C auf. Mittels der Pumpe 31 wird das abgekühlte Flüssigsalz 12 über die vierte Leitung 32 wieder dem Erhitzer 2 zugeführt. Sowohl das sich im Erhitzer, im Heißtank und im Kalttank befindliche Flüssigsalz kann aufgrund der hohen Temperatur als Salzschmelze verstanden werden.

[0065] Damit wird das Flüssigsalz 12 vom Erhitzer 2 in Pfeilrichtung F (in der Blattebene im Uhrzeigersinn) der Reihe nach vom ersten Speicher 20, zum Dampferzeuger 25, zum zweiten Speicher 30 und schließlich wieder zum Erhitzer 2 zurück gefördert.

[0066] Die Elektroden **3**, **4**, **5** können als elektrisch leitfähige Keramiken, intermetallische Verbindungen, Metalle oder Metalllegierungen ausgebildet sein.

[0067] Für die **Fig. 1** ist nachfolgende Gleichung relevant: $P_{\text{thermisch}} = m_p \cdot c_p \cdot dT$. Dabei gilt: $P_{\text{el}} = U^2/R_{\text{Salz}}$, wobei $dT = \text{konst.}$ und $U = \text{konst.}$

[0068] Bei einem höheren Massenstrom m_p gilt: $P_{\text{thermisch}}$ größer, P_{el} größer, R_{salz} kleiner und Füllstand höher. Die Stromstärke I variiert mit der Füllstandhöhe.

[0069] Gemäß **Fig. 2** kann alternativ zur **Fig. 1** anstelle des ersten Speichers **20** und des zweiten Speichers **30** auch Eintankspeicher **50** vorgesehen werden. Der Eintankspeicher **50** weist eine erste Kammer **51** und eine zweite Kammer **52** auf. Mittels einer Trennschicht **53**, insbesondere Temperaturwechschicht, wird das Flüssigsalz **12**, welches vom Erhitzer **2** zugeführt wird vom Flüssigsalz **12**, welches vom Dampferzeuger **25** zugeführt wird, getrennt.

[0070] **Fig. 3** zeigt eine schematische Ausführungsform eines Erhitzers **2**, der im Unterschied zum Erhitzer **2** aus der **Fig. 1** zusätzlich ein Ventil **18** aufweist. Das Ventil **18** dient dazu, den Erhitzer **2** zu entleeren. Eine Entleerung kann sinnvoll sein, bei Notabschaltung und/oder Salzerstarrung.

[0071] **Fig. 4** zeigt eine weitere schematische Ausführungsform eines Erhitzers **2**, der im Unterschied zum Erhitzer **2** aus der **Fig. 1** eine Isolierung **7** aufweist, die innerhalb des Behälters **6** des Erhitzers **2** angeordnet ist. Die innerhalb des Behälters **6** angeordnete Isolierung **7** dient der thermischen Isolierung. Ein Teilbereich **19** der Isolierung **7** ist mit Flüssigsalz **12** getränkt. Das Salz erstarrt im Bereich **19**, wobei erstarrtes Salz elektrisch kaum leitfähig ist.

[0072] **Fig. 5** zeigt eine weitere alternative schematische Ausführungsform eines Erhitzers **2**. In **Fig. 6** ist ein Schnitt **A-A** durch den Erhitzer aus **Fig. 5** gezeigt. Der Erhitzer **2** gemäß **Fig. 5** zeigt eine Anordnung der Elektroden **3**, **4**, **5** innerhalb des Behälters **6**.

[0073] Die Elektroden **3**, **4**, und **5** sind entsprechend ihrer Längserstreckung parallel zueinander beabstandet angeordnet. Gemäß der **Fig. 6** sind die Elektroden **3**, **4**, **5** gemäß einer Dreieckschaltung angeordnet. Dabei ist die Isolierung **7** innerhalb des Behälters **6** derart ausgebildet, dass die Kanäle **33** für die Salzlösung **12** verengt sind und in direkter Verbindungslinie zwischen den Elektroden **3**, **4**, **5** liegen. Durch das Vorsehen der Dreiecksschaltung weist das Flüssigsalz **12** am Ein- und Austritt des Erhitzers **2** ein vernachlässigbares elektrisches Potential auf.

[0074] **Fig. 7** zeigt eine weitere alternative schematische Ausführungsform eines Erhitzers **2**. In **Fig. 8** ist

ein Schnitt B-B durch den Erhitzer aus **Fig. 7** gezeigt. Der Erhitzer **2** gemäß **Fig. 5** unterscheidet sich vom Erhitzer **2** der **Fig. 5** und **Fig. 6** durch die Anordnung der Elektroden **3**, **4**, **5** innerhalb des Behälters **6**.

[0075] Die Elektroden **3**, **4**, und **5** sind entsprechend ihrer Längserstreckung parallel nebeneinander beabstandet angeordnet. Gemäß der **Fig. 8** sind die Elektroden **3**, **4**, **5** gemäß einer Sternschaltung angeordnet. Dabei ist die Isolierung **7** innerhalb des Behälters **6** derart ausgebildet, dass die Kanäle **33** für die Salzlösung **12** verengt sind. Durch das Vorsehen der Sternschaltung weist das Flüssigsalz **12** am Ein- und Austritt des Erhitzers **2** ein vernachlässigbares elektrisches Potential auf.

[0076] **Fig. 9** zeigt eine weitere alternative schematische Ausführungsform eines Erhitzers **2**. Gemäß der **Fig. 9** sind die Elektroden **3**, **4**, **5** gemäß einer Sternschaltung angeordnet. Dabei ist die Isolierung **7** innerhalb des Behälters **6** derart ausgebildet, dass die Kanäle **33** für die Salzlösung **12** verengt sind, wobei alle Weglängen **34** zwischen den Elektroden **3**, **4**, **5** von der Einlassöffnung **11** zur Auslassöffnung **10** gleich lang sind.

[0077] Der Widerstand ergibt sich zu: $R = 1 / (\sigma A)$. Für **Fig. 9** gilt: $R_{2 \times \text{kanal, parallel}} = 1 / (2\sigma h d)$ Mit einer typischen elektrischen Leitfähigkeit von Nitratsalz von $\sigma = 100 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$, einem Abstand der Elektroden von $1 = 2 \text{ m}$ und einer idealisierten jeweiligen Elektrodenfläche von $A = h d = 0,01 \text{ m}^2$ (die Höhe h der Elektroden ist nicht gezeigt) ergibt sich ein Widerstand von $R = 1 \Omega$. Bei einer Spannung von $U_{\text{kanal}} = 400 \text{ V}$ ergibt sich ein Strom von $I = U_{\text{kanal}} / R_{2 \times \text{kanal, parallel}} = 400 \text{ A}$ und eine Leistung von $P_{\text{kanal}} = U_{\text{kanal}} I = 160 \text{ kW}$. Die Gesamtleistung beträgt dann:

$$P_{\text{ges}} = 3 P_{\text{kanal}} = 3 U_{\text{kanal}} I = 3 U \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) = \sqrt{3} U I = 480 \text{ kW}.$$

$$U = 480 \text{ kW} / \left(\frac{1}{\sqrt{3}} 400 \text{ A} \right) = 693 \text{ V}$$

[0078] **Fig. 10** zeigt eine schematische Ansicht einer Elektrode **3** des Erhitzers **2**. Die Elektrode **3** weist keramisch ausgeführte, elektrische Isolatoren **42**, **43** auf. Ein erster Isolator **42** ist an der Behälterwand **6** (Deckel) angeordnet, um einen direkten Stromfluss zwischen der Elektrode **3** und Behälterwand **6** zu vermeiden. Die weiteren Isolatoren **43** sind entlang der Elektrode **3** in axialer Richtung hintereinander und beabstandet voneinander angeordnet, um einen parasitären Stromfluss zu minimieren/verhindern. Ein Flüssigsalzfilm **44** liegt infolge Kriechvorgangs am untersten Isolator **43** an. Ein unterer Teilbereich (Spitze) der Elektrode **3** ragt in das Flüssigsalz **12**.

[0079] Soweit der Füllstand zur Leistungserhöhung ansteigt, können auch die Isolatoren **43** nach und

nach mit Flüssigsalz **12** bedeckt werden. Parasitäre Ströme, die durch die mit Flüssigsalz **12** benetzte Oberfläche an der Elektrode **3** entstehen und dort ggfs. zu einer lokalen Salzzersetzung an dünnen Salzfilmen führen können, können so minimiert/vermieden werden. Durch die Isolatoren **43** wird somit eine klarere Trennung zwischen der in die Salzlösung **12** eingetauchten und nicht eingetauchten Elektrode **3** geschaffen und parasitäre Ströme in Randbereichen bzw. benetzten Bereichen der Elektrode **43** können minimiert/vermieden werden.

[0080] Alternativ kann eine Elektrode **3** in mehrere Teilelektroden (nicht gezeigt) aufgeteilt werden (jeweils mit eigenem Isolator), wobei die Teilelektroden mit steigendem Füllstand nach und nach benetzt werden. Vorzugsweise sind die Teilelektroden und Isolatoren dann so ausgeführt, dass eine Benetzung der Elektroden außerhalb des Salzvolumens wegen der Gefahr der lokalen Zersetzung des Salzfilms vermieden wird.

[0081] In Fig. 11 ist eine alternative Vorrichtung **1** gezeigt. Im Unterschied zur Vorrichtung gemäß Fig. 1 sind dem zweiten Speicher **30** drei Ventile **36** zur Mengenregelung nachgeschaltet, die das Flüssigsalz **12** im freien Fall über drei Falleleitungen **38** dem Erhitzer **2** zuführen. Der Erhitzer **2** weist drei Zellen **45** mit je einer Elektrode **3**, **4** und **5** auf. Die Anordnung der Elektroden **3**, **4**, **5** entspricht einer Sternschaltung. Jeder der Zellen **45** ist ein Regelventil **37** nachgeschaltet. Das Flüssigsalz **12** wird über die Regelventile **37** in Richtung zum ersten Speicher **20** gefördert. Eine elektrische Isolierung **39** lässt sich mittels eines Gases erzielen. Durch das Vorsehen einer Sternschaltung weist das Flüssigsalz **12** am Ein- und Austritt des Erhitzers **2** ein vernachlässigbares elektrisches Potential auf.

[0082] In Fig. 12 ist eine weitere alternative Vorrichtung **1** gezeigt. Im Unterschied zur Vorrichtung gemäß Fig. 11 sind die drei Zellen **45** von einer porösen thermischen und elektrischen Isolierung **7** umgeben. Diese Isolierung kann bspw. Feuerstein sein. In Fließrichtung des Flüssigsalzes **12** ist eine Schüttung **41** vor und nach und wenigstens teilweise innerhalb der jeweiligen Zelle **45** angeordnet. Die Schüttung **41** dient dazu, die Fall- und Fließgeschwindigkeit des Flüssigsalzes **12** herabzusetzen. Hierfür können Edelstahl, Keramik, Gesteinsschüttung oder ein Verbundmaterial mit einer Porosität kleiner 50% eingesetzt werden. Um die Schüttung **41** herum ist die elektrische und thermische Isolierung **7** angeordnet, wobei Salze in einem Bereich **40** um die Schüttung **41** herum, erstarrt sind. In der Vorrichtung **1** bilden der erste Speicher **20** und der Erhitzer **2** eine gemeinsame Einheit aus. Durch das Vorsehen einer Sternschaltung weist das Flüssigsalz **12** am Ein- und Austritt des Erhitzers **2** ein vernachlässigbares elektrisches Potential auf.

Bezugszeichenliste

1	Vorrichtung
2	Durchlauferhitzer
3	Elektrode
4	Elektrode
5	Elektrode
6	Behälter
7	Isolierung
8	Füllstandmesser
9	Temperaturmesser
10	Auslassöffnung
11	Einlassöffnung
12	Flüssigsalz
13	Transformator
14	Hochwechselfspannung
15	Niederwechselfspannung
16	Leitung
17	Ventil
18	Ventil
19	getränkte Isolierung
20	Speicher (Heißtank)
21	Pumpe
22	Leitung
24	Gas
25	Wärmeübertrager 26 Leitung
30	Speicher (Kalttank)
31	Pumpe
32	Leitung
33	Kanal
34	Länge
35	Erdung
36	Ventil
37	Ventil
38	Falleitung
39	Isolierung
40	Isolierungsbereich
41	Schüttung
45	Zelle
50	Eintankspeicher
51	Kammer

- 52 Kammer
 53 Trennschicht
 F Fließrichtung/Förderrichtung

Patentansprüche

1. Durchlauferhitzer (2) zum Erhitzen eines Flüssigsalzes (12), das sich in einem einen Flüssigsalzauslass (10) und einen Flüssigsalzeinlass (11) aufweisenden Behälter (6) befindet, wobei der Erhitzer (2)

- wenigstens drei Elektroden (3, 4, 5) zur Erzeugung eines Stromflusses im Volumen des Flüssigsalzes (12) aufweist oder
- eine Vorrichtung zur Erzeugung eines elektromagnetischen Feldes im Volumen des Flüssigsalzes (12) aufweist oder
- eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellen im Volumen des Flüssigsalzes (12) aufweist, wobei die Elektroden (3, 4, 5), die Vorrichtung zur Erzeugung des elektromagnetischen Feldes und die Vorrichtung zur Erzeugung der Mikrowellen flüssigsalzkontaktierend im Behälter (6) angeordnet sind.

2. Durchlauferhitzer (2) nach Anspruch 1, wobei die Elektroden (3, 4, 5) im Behälter (6) als Dreieckschaltung oder als Sternschaltung ausgebildet sind.

3. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei die Elektroden (3, 4, 5) Platten oder Stäbe sind.

4. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei ein Widerstand zwischen den Elektroden (3, 4, 5) durch einen Flüssigsalzkanal (33) erzeugt wird, wobei das Verhältnis von Kanalvolumen zu Elektrodenvolumen mindestens 10/1 beträgt.

5. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei ein Flüssigsalzmassenstrom innerhalb des Durchlauferhitzers (2) von einem Flüssigsalzkanal auf mindestens zwei Flüssigsalzkanäle (33) aufgeteilt und wieder zu einem Flüssigsalzkanal zusammengeführt wird.

6. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei zur Erhöhung des elektrischen Widerstands eines Flüssigsalzkanals (33) eine zusätzlich elektrisch isolierende Schüttung angeordnet ist.

7. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Transformator (13) zur Herabsetzung der Spannung an den Elektroden (3, 4, 5).

8. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei die Elektroden (3, 4, 5)

elektrisch leitfähige Keramiken, intermetallische Verbindungen, Metalle oder Metalllegierungen sind.

9. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei der Erhitzer (2) eine Isolierung (7) umfasst, und wobei die Isolierung (7) außerhalb des Behälters (6) und/oder innerhalb des Behälters (6) angeordnet ist.

10. Durchlauferhitzer (2) nach Anspruch 9, wobei die Isolierung (7) eine thermische und/oder elektrische Isolierung ist.

11. Durchlauferhitzer (2) nach einem der Ansprüche 9 bis 10, wobei eine thermische und elektrische Isolierung elektrisch isolierendes Salz innerhalb der Isolierung aufweist.

12. Durchlauferhitzer (2) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die Isolierung (7) zur Reduzierung der Fall-und/oder Fließgeschwindigkeit des Flüssigsalzes (12) und/oder zur Erhöhung des elektrischen Widerstands des Volumens des Flüssigsalzes (12) zwischen den Elektroden (3, 4, 5) eine Schüttung (41) aufweist.

13. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei der Erhitzer (2) einen Füllstandmesser (8), einen Temperaturmesser (9) und mindestens einen Aktor (17) aufweist.

14. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei der Durchlauferhitzer (2) eingerichtet ist, eine Leistung des Durchlauferhitzers (2) über den Füllstand des Flüssigsalzes (12) zu regeln und/oder das Flüssigsalz (12) durch ein Ablassventil (18) des Durchlauferhitzers (2) über Schwerkraft abzuführen.

15. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei das Flüssigsalz (12) im festen Zustand elektrisch isolierend sind.

16. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei das Flüssigsalz (12) eine Leitfähigkeit im Bereich von 10 bis 1000 $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ bei Temperaturen im Bereich von -50°C bis 800°C aufweisen.

17. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei das Flüssigsalz (12) eine wasserfreie Salzschnmelze oder eine mit Wasser versetzte Salzlösung ist.

18. Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, wobei als Flüssigsalz (12) Salze oder Salzlösungen der Nitrate, der Nitrite, der Chloride, der Bromide, der Fluoride, der Iodide, der Sulfate, der Hydroxide, der Oxide, und/oder der Carbonate verwendet werden oder Mischungen hiervon.

19. Durchlauferhitzer (2) nach Anspruch 18, wobei als Flüssigsalz (12) Nitrat- und/oder Nitritsalze in Mischungen aus Kaliumnitrat, Natriumnitrat, Calciumnitrat, Lithiumnitrat und/oder Natriumnitrit verwendet werden.

20. Durchlauferhitzer (2) nach Anspruch 18, wobei als Flüssigsalz (12) Chloridsalze in wasserfreier und sauerstofffreier Atmosphäre in Mischungen aus Kalium-, Natrium-, Barium-, Calcium- und/oder Magnesiumchlorid verwendet werden.

21. Vorrichtung (1) aufweisend wenigstens einen Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche, einen ersten Speicher (20), einen Wärmeübertrager (25) und einen zweiten Speicher (30), wobei

- der Erhitzer (2) über eine erste Leitung (16) mit dem ersten Speicher (20) verbunden ist,
- der erste Speicher (20) über eine zweite Leitung (22) mit dem Wärmeübertrager (25) verbunden ist,
- der Wärmeübertrager (25) über eine dritte Leitung (26) mit dem zweiten Speicher (30) verbunden ist,
- der zweite Speicher (30) über eine vierte Leitung (32) mit dem Erhitzer (2) verbunden ist.

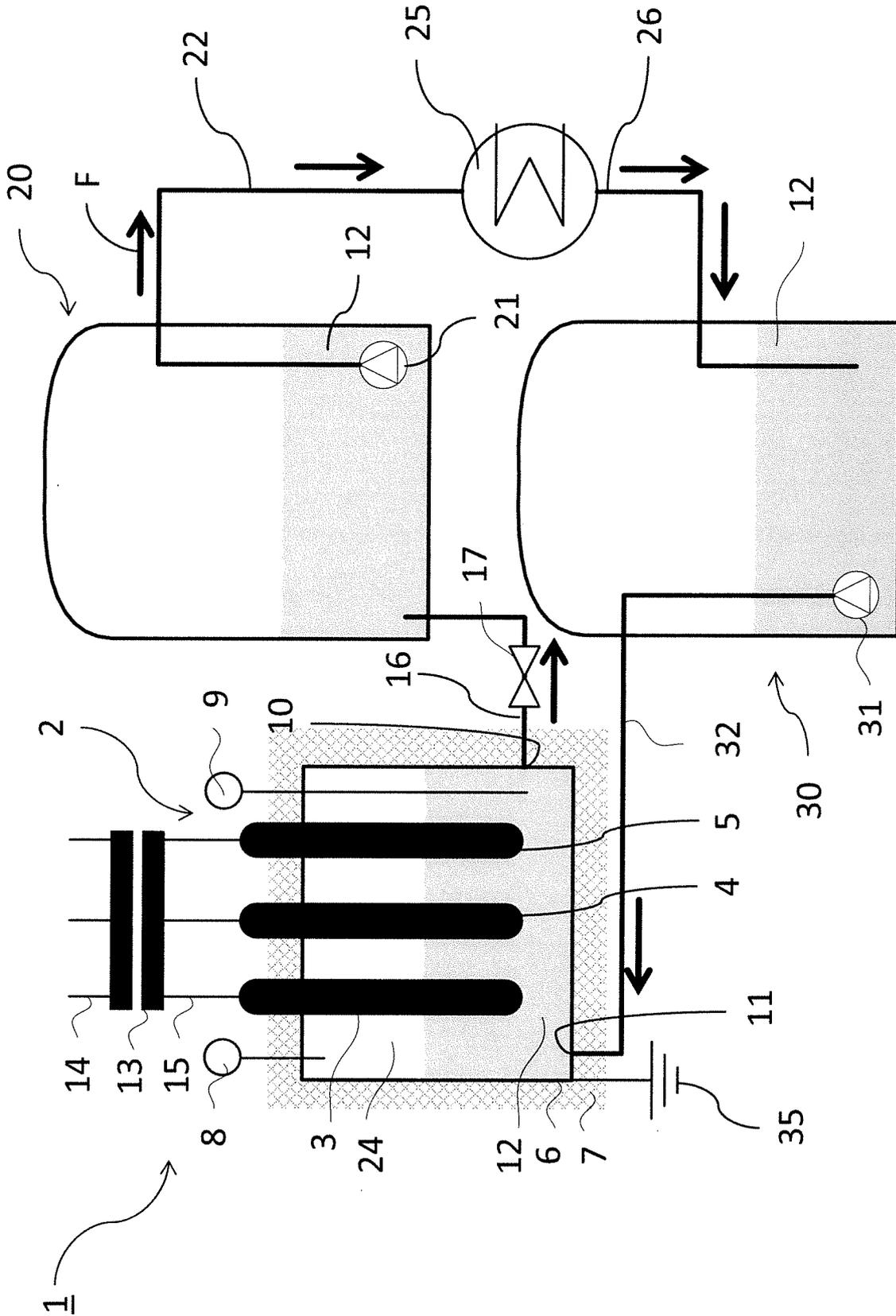
22. Vorrichtung (1) aufweisend wenigstens einen Durchlauferhitzer (2) nach einem der vorherstehenden Ansprüche 1 bis 20, einen Eintankspeicher (50) mit zwei Kammern (51, 52) und eine diese Kammern (51, 52) trennende Schicht (53) und einen Wärmeübertrager (25), wobei

- der Erhitzer (2) über eine erste Leitung (16) mit einer ersten Kammer (51) des Eintankspeichers (50) verbunden ist,
- die erste Kammer (51) des Eintankspeichers (50) über eine zweite Leitung (22) mit dem Wärmeübertrager (25) verbunden ist,
- der Wärmeübertrager (25) über eine dritte Leitung (26) mit einer zweiten Kammer (52) des Eintankspeichers (50) verbunden ist,
- die zweite Kammer (52) des Eintankspeichers (50) über eine vierte Leitung (32) mit dem Erhitzer (2) verbunden ist.

23. Anlage aufweisend wenigstens eine Vorrichtung (1) gemäß einem der Ansprüche 21 bis 22.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Figur 1

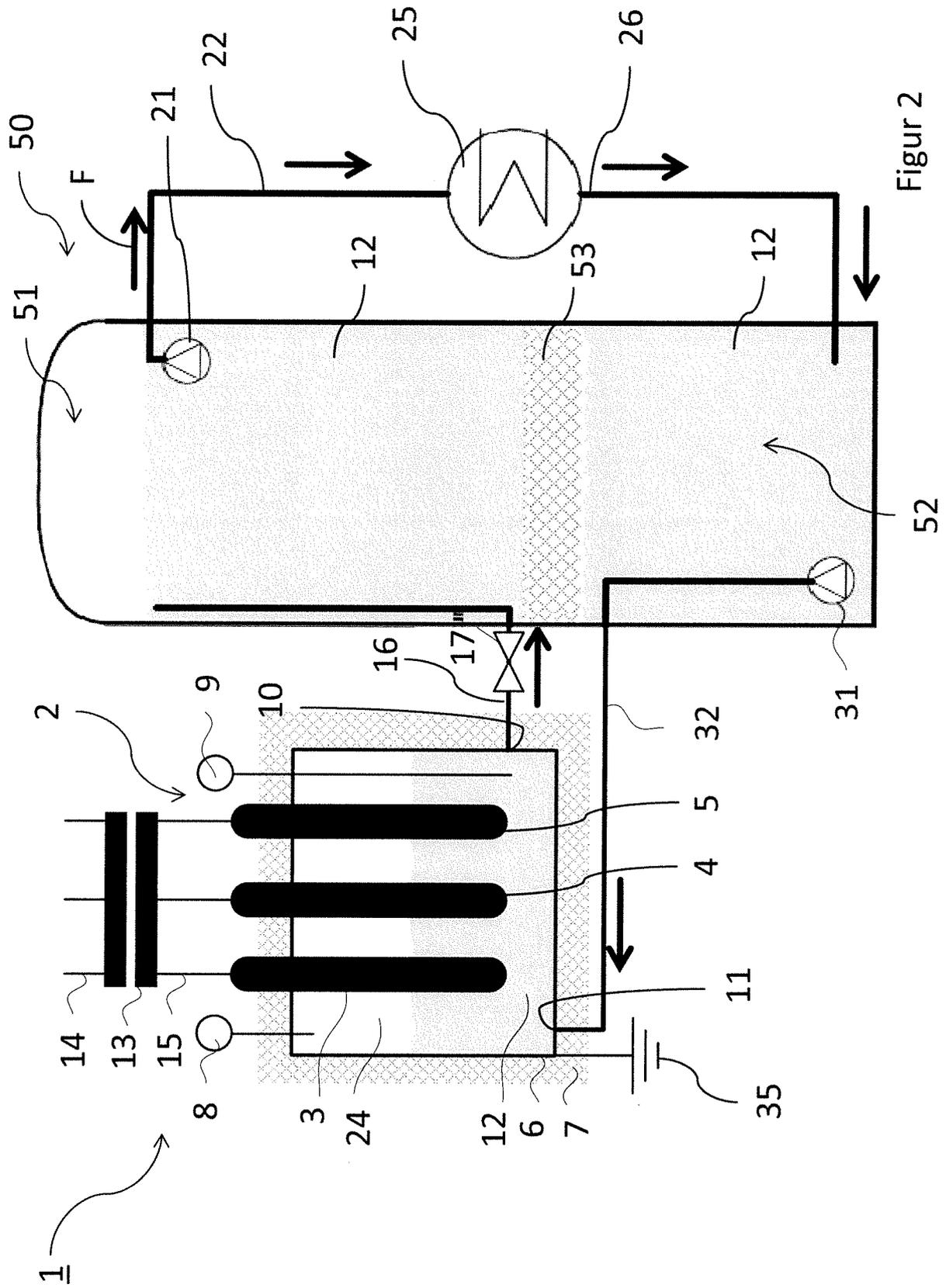


Figure 2

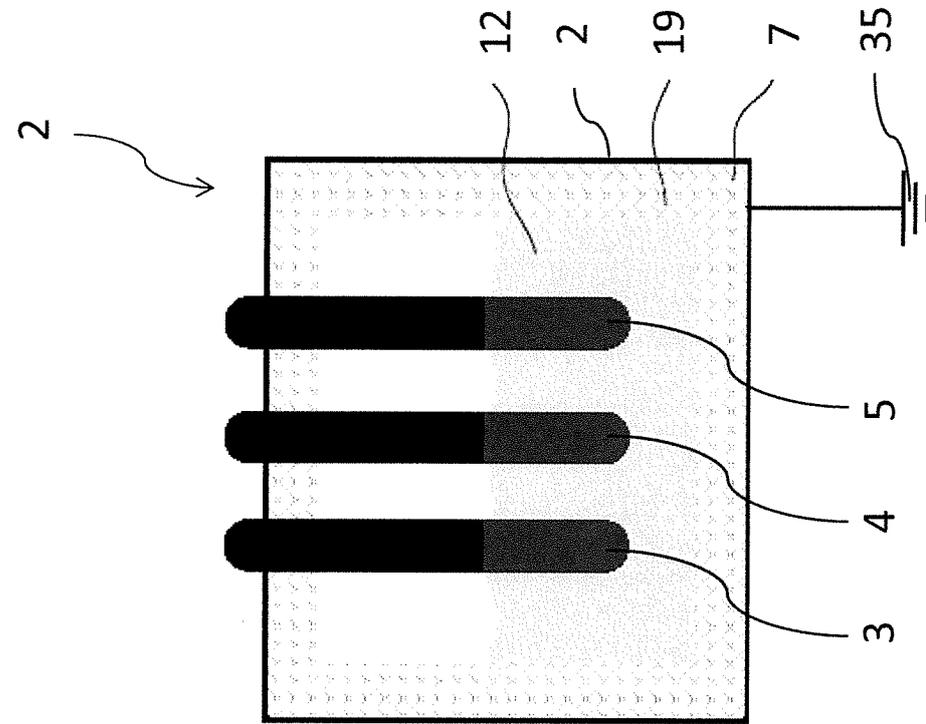


Figure 4

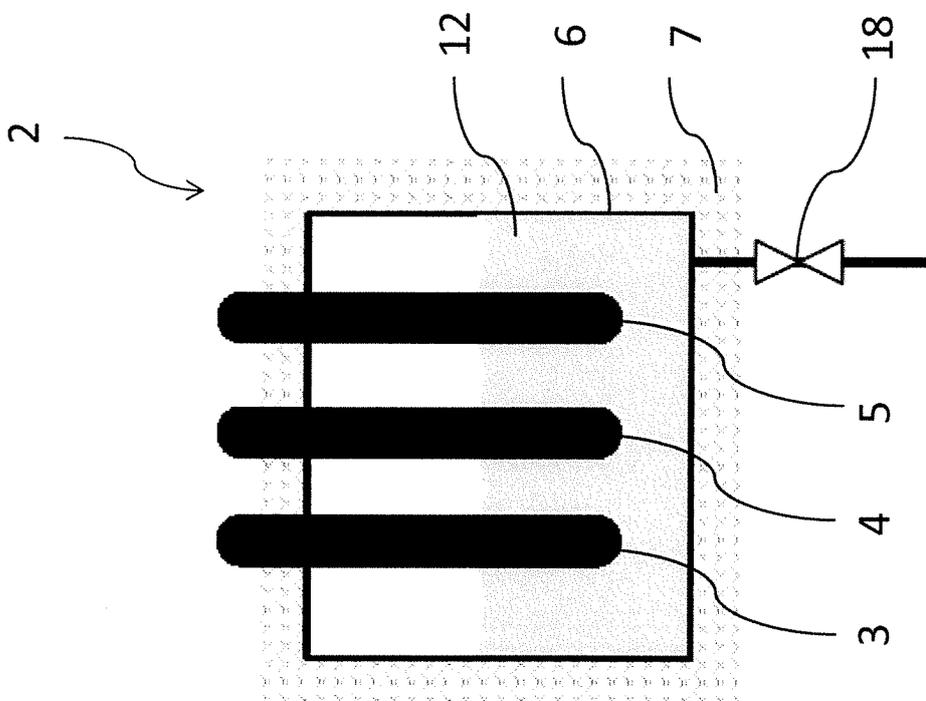


Figure 3

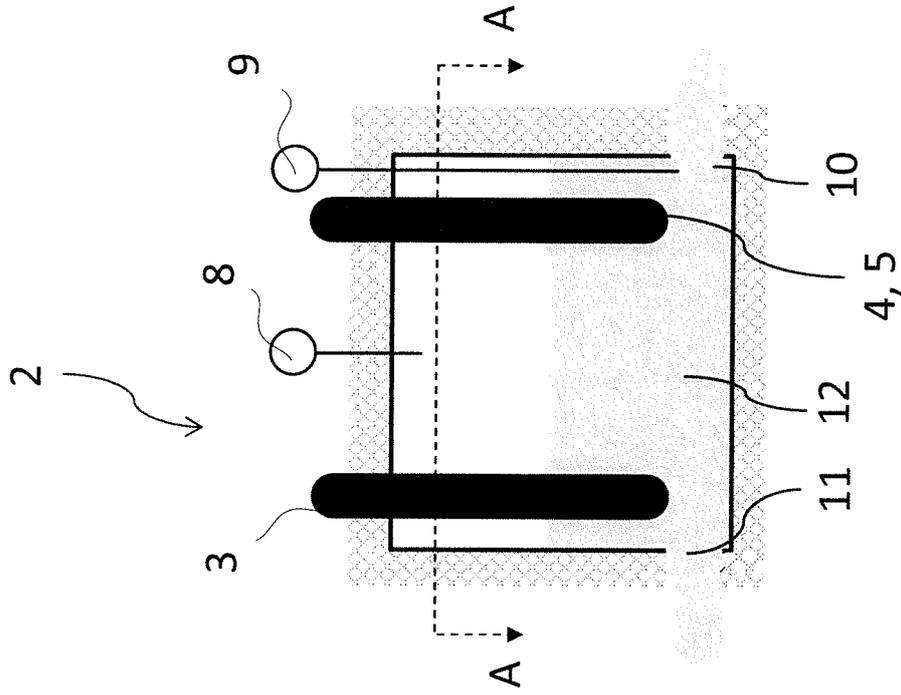


Figure 5

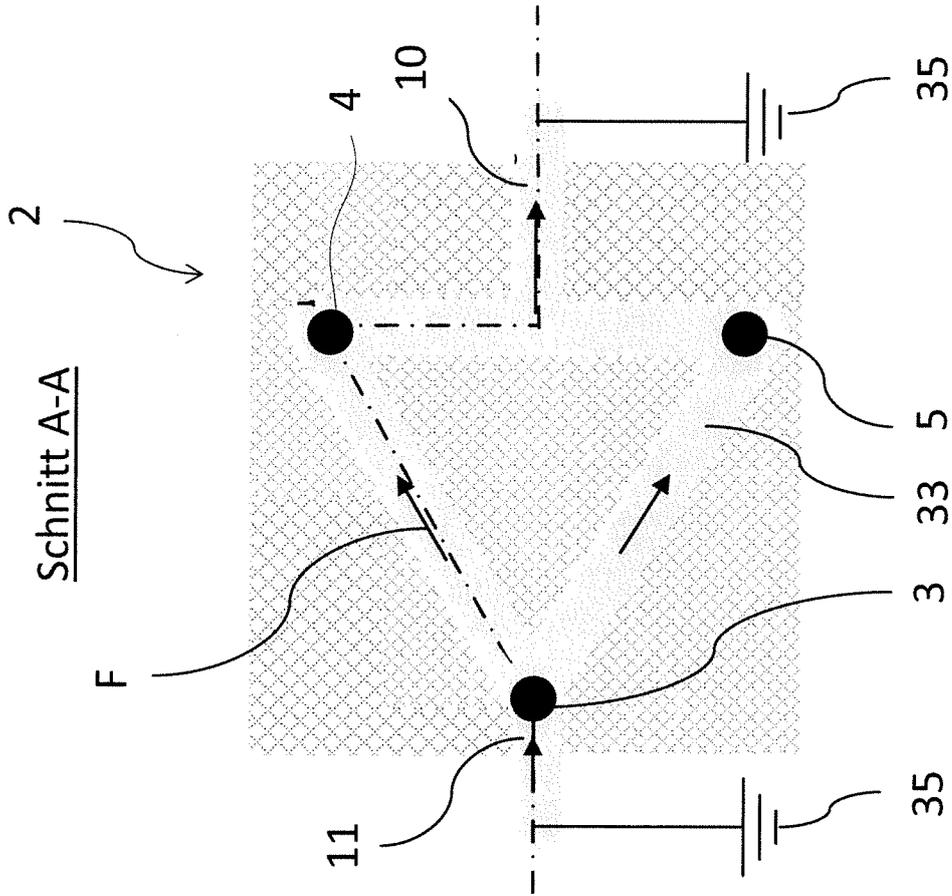


Figure 6

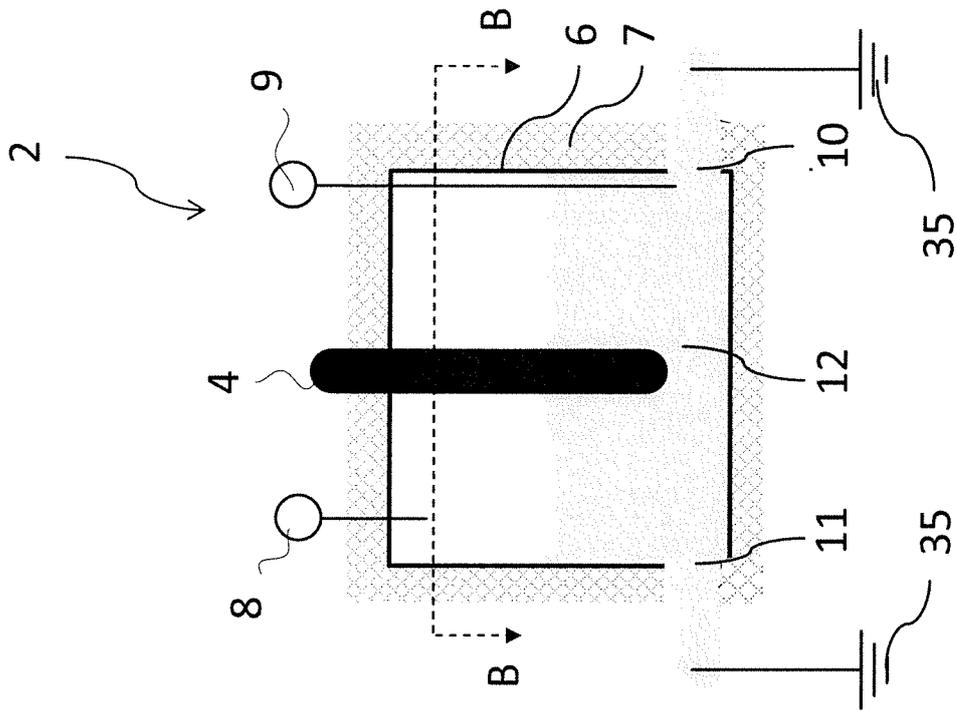


Figure 7

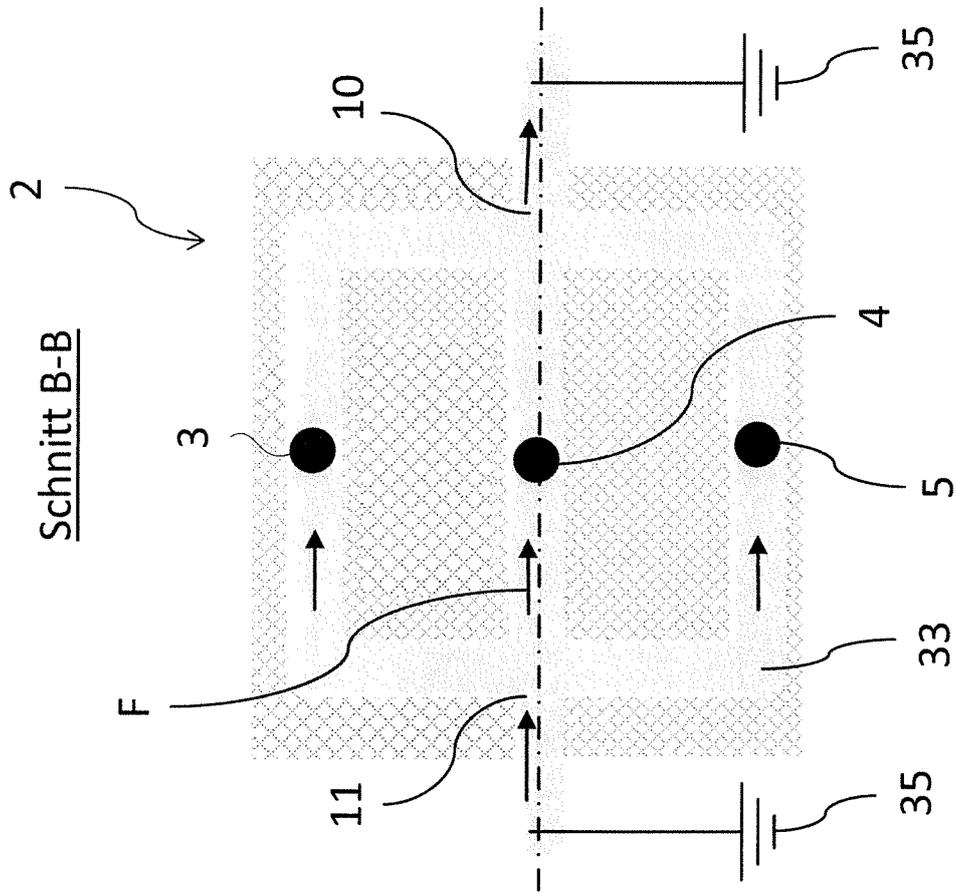


Figure 8

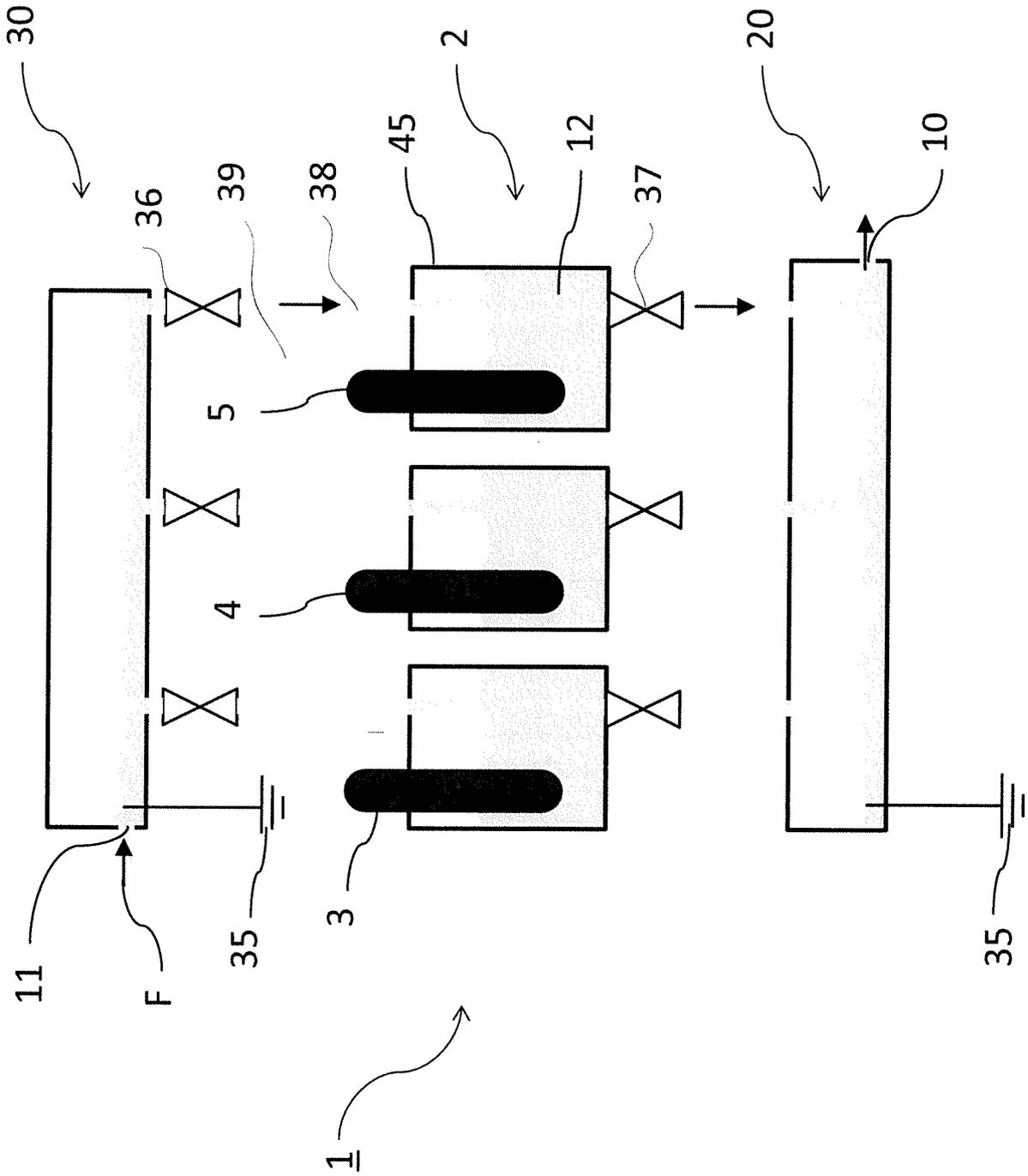
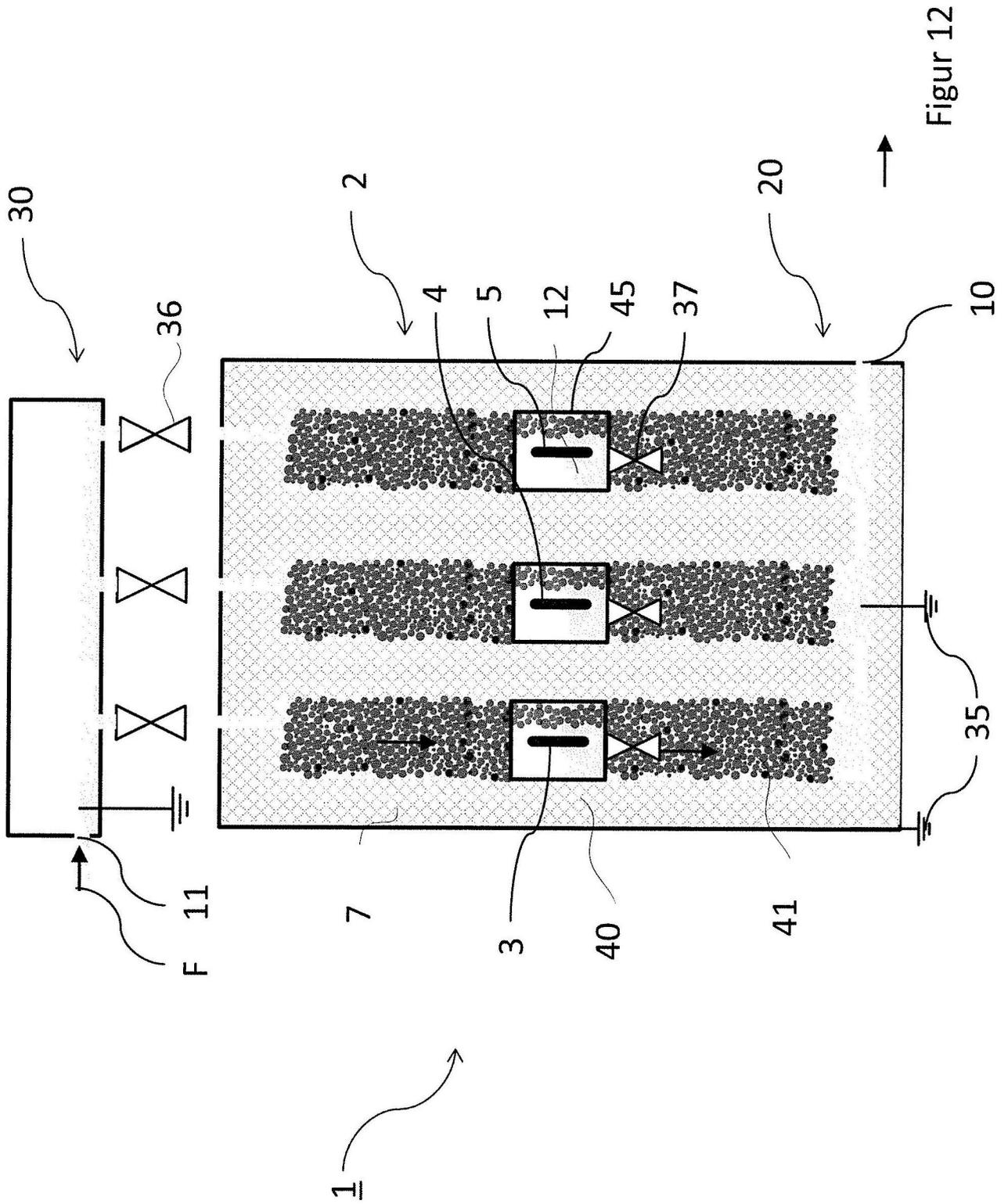


Figure 11



Figur 12