



(11)

EP 4 524 219 A1

(12)

# EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**19.03.2025 Patentblatt 2025/12**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**C10G 9/00** (2006.01)      **C10G 9/36** (2006.01)  
**C10G 9/24** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23020429.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**C10G 9/002; C10G 9/24; C10G 9/36**

(22) Anmeldetag: 15.09.2023

**(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: **Linde GmbH**  
**82049 Pullach (DE)**

(72) Erfinder:

- **Bruder, David**  
**82049 Pullach (DE)**

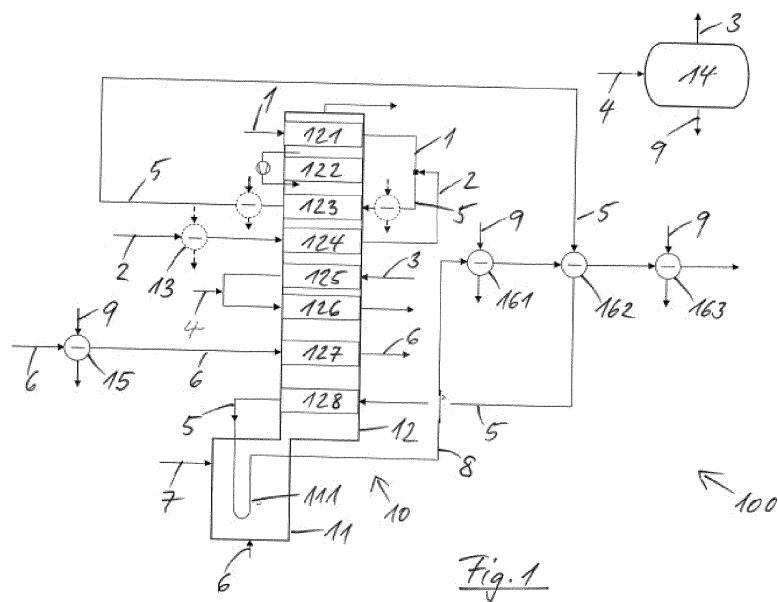
- Quist, René  
82049 Pullach (DE)
- Schmidt, Gunther  
82049 Pullach (DE)
- Sinn, Tobias  
82049 Pullach (DE)

(74) Vertreter: **Reuß, Stephanie**  
**Linde GmbH**  
**Intellectual Property EMEA**  
**Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14**  
**82049 Pullach (DE)**

## (54) VERFAHREN UND ANLAGE ZUM STEAMCRACKEN

(57) Es wird ein Verfahren zum Steamcracken vorgenommen, wobei ein Einsatzgemisch (5), das einen oder mehrere Kohlenwasserstoffe und Dampf enthält, einem Spaltöfen (10, 80) zugeführt wird, wobei dem Spaltöfen (10, 80) ein Spaltgas (8) entnommen wird, wobei das Spaltgas (8) oder ein Teil hiervon einer Spaltgaskühlung (16) unterworfen wird, wobei die Spaltgaskühlung (16) unter Verwendung eines primären Spaltgaskühlers (161), eines sekundären Spaltgaskühlers

(162) und eines tertären Spaltgaskühlers (163) durchgeführt wird, und wobei der sekundäre Spaltgaskühler (162) stromab des primären Spaltgaskühlers (161) und der tertäre Spaltgaskühler (163) stromab des sekundären Spaltgaskühlers (162) angeordnet ist. Hierbei ist vorgesehen, dass das Einsatzgemisch (5) oder ein Teil hiervon mittels des sekundären Spaltgaskühlers (162) erwärmt wird. Eine entsprechende Anlage (100-800) ist ebenfalls Gegenstand.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zum Steamcracken.

### Hintergrund

**[0002]** Verfahren und Anlagen zum Steamcracken von Kohlenwasserstoffen sind beispielsweise im Artikel "Ethylene" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Onlineausgabe, 15. April 2009, DOI: 10.1002/14356007.a10\_045.pub2, beschrieben. Das Steamcracken (engl. Steam Cracking, im Deutschen auch als Dampfspalten bezeichnet) wird vorwiegend zur Gewinnung von kurzkettigen Olefinen wie Ethylen und Propylen, Diolefinen wie Butadien oder von Aromaten eingesetzt, ist jedoch nicht auf die Gewinnung solcher Verbindungen beschränkt.

**[0003]** Zum Steamcracken werden Dampfspaltanlagen mit sogenannten Spaltöfen (engl. Cracking Furnaces) eingesetzt. Diese Spaltöfen können auch in einer oder in mehreren Gruppen bereitgestellt und unter unterschiedlichen Bedingungen betrieben bzw. mit unterschiedlichen Einsätzen (engl. Feeds) beschickt werden. Bekannte Spaltöfen weisen typischerweise eine sogenannte Konvektionszone (engl. Convection Section) und eine sogenannte Strahlungszone (engl. Radiant Section) auf. Die Strahlungszone wird mittels zumindest bodenseitig angeordneten Brennern befeuert. Rauchgase aus der Strahlungszone strömen über die Konvektionszone ab.

**[0004]** Die Konvektionszone dient typischerweise zum Vorheizen von Kesselspeisewasser, zum Erzeugen bzw. weiteren Erwärmen von Dampf und/oder zum Vorheizen des Reaktionseinsatzes bzw. zum weiteren Erwärmen eines Gemisches aus Reaktionseinsatz und Dampf. Hierzu werden entsprechende Rohrbündel durch die Konvektionszone geführt. Das Gemisch aus Reaktionseinsatz und Dampf wird zur Umsetzung in sogenannten Spaltrohren (engl. Coils) durch die Strahlungszone geführt. Die Spaltrohre können in unterschiedlichen, in der Fachliteratur beschriebenen Konfigurationen und Anordnungen bereitgestellt sein.

**[0005]** Das über die erwähnten Spaltrohre aus der Strahlungszone ausgeführte sogenannte Spaltgas (engl. Cracked Gas), das zunächst auf einer Temperatur von typischerweise 750 bis 875 °C vorliegt, muss, um die ablaufenden Reaktionen möglichst rasch zum Stillstand zu bringen und damit eine übermäßige Bildung von unerwünschten Nebenprodukten zu verhindern, möglichst rasch abgekühlt werden. Zur Abkühlung des Spaltgases dienen dabei sogenannte Quenchwärmetauscher, die nachfolgend auch unter dem Begriff "Spaltgaskühler" zusammengefasst werden. Unterschiedliche Bauformen sind in der Fachliteratur beschrieben.

**[0006]** In der EP 3 415 587 A1 wird ein modifizierter Aufbau der Konvektionszone und der Quenchwärmetauscher für befeuerte Öfen mit Luftvorwärmung vorge-

schlagen, bei dem ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffen und Prozessdampf direkt vor der Einspeisung in die Reaktionsrohre in der Strahlungszone gegen Spaltgas direkt nach der Entnahme aus den Reaktionsrohren in einem Spaltgaskühler erhitzt wird.

**[0007]** Es besteht weiterhin der Bedarf nach Verbesserungen bei entsprechenden Verfahren und Anlagen zum Steamcracken, die bestimmte Nachteile herkömmlicher Verfahren überwinden und insbesondere energetische Vorteile liefern.

### Kurzbeschreibung

**[0008]** Vor diesem Hintergrund werden ein Verfahren und eine Anlage zum Dampfspalten mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung und ihre Ausgestaltungen schlagen Varianten einer Prozessführung in einem befeuerten Spaltöfen vor, die eine erhebliche Minimierung des Heizgasverbrauchs bzw. der Unterfeuerungsleistung (und damit einhergehende Emissionen, insbesondere von Kohlendioxid) von über 30%, verglichen mit einem konventionellen Spaltöfen, ermöglichen.

**[0010]** Kombiniert mit kohlenstofffreiem Heizgas (blauer oder grüner Wasserstoff oder Ammoniak) und einer Kompensation der reduzierten Dampfproduktion mittels elektrischen statt Dampfturbinenantrieben (grüner Strom) kann eine teilweise bis weitestgehend kohlenstoffdioxidemissionsfreie und nachhaltige Produktion von Ethylen und optional anderen Olefinen erreicht werden.

**[0011]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung und ihrer Ausgestaltungen werden dabei insbesondere eine Verbrennungsluftvorwärmung und eine Spaltgaskühlung gegen ein Reaktionseinsatzgemisch (d.h. die Verwendung eines Feed-Effluent-Wärmetauschers; engl. Feed Effluent Heat Exchanger, FEHE bzw. FEX) vorgeschlagen. Besondere Verbesserungen umfassen in Ausgestaltungen der Erfindung die Darstellung von sehr hohen Luftvorwärmtemperaturen (etwa 400 bis 700 °C) bei der Verbrennungsluftvorwärmung, wobei in entsprechenden Ausgestaltungen insbesondere eine (indirekte) Spaltgaswärmeintegration und eine Rauchgasnutzung über konventionelle Bündel (Rohrbündel) direkt am Spaltöfen, d.h. innerhalb der Konvektionszone, möglich ist.

**[0012]** Die vorgeschlagene Spaltgaskühlung ermöglicht dabei insbesondere ein Vermeiden und Minimieren offensichtlicher und erwarteter Nachteile, Schwierigkeiten, Aufwand und Risiken bekannter Verfahren und Anlagen. Dazu wird eine erhöhte Flexibilität und Erweiterung des Einsatzbereichs bei möglichst hoher Heizgasinsparung erreicht.

**[0013]** Die Erfindung und ihre Ausgestaltungen umfassen die Vermeidung neuer und zusätzlicher Prozessrisiken, insbesondere bezüglich Selektivitätsverlusten,

Precracking, d.h. unerwünschter zu früher Spaltvorgänge, Verkokung, Ofenlaufzeit, Design- und Flexibilitätsseinschränkungen. Die Erfindung und ihre Ausgestaltungen können dabei konventionelle oder demgegenüber nur geringfügig abgeänderte Prozessparameter (Feedvordruck, Prozessdampfvordruck, prozessseitiger Druckverlust) umfassen. Der Begriff "konventionell" soll dabei insbesondere einen Betrieb im Rahmen typischer, insbesondere bekannter, Prozessparameterbereiche bezeichnen.

**[0014]** In Ausgestaltungen der Erfindung kann dabei eine konventionelle Ofenbauweise erfolgen, wobei entsprechende Spaltöfen insbesondere eine konventionelle Konvektionszone mit Rauchgasbündeln (nachfolgend auch einfach als "Rohrbündel" oder "Bündel" bezeichnet) in der Konvektionszone aufweisen. Eine Spaltgaskühlung kann in konventionellen Wärmeübertragern (Linear-Kühler oder Wärmeübertrager vom GeraDrohrtyp) erfolgen. Eine Minimierung des baulichen Aufwands für Zusatzapparate, Regelung und Instrumentierung und an den Apparaten selbst, insbesondere hinsichtlich der Wärmeübertragerflächen, ist in Ausgestaltungen der Erfindung möglich. Ferner kann die Verwendung zusätzlicher, externer Wärmequellen vermieden und damit die Ofenautarkie erhalten werden.

**[0015]** Ausgestaltungen der Erfindung vermeiden darüber hinaus klassische (große, aufwändige) Verbrennungsluftvorwärmer für die Erwärmung von Frischluft mit Rauchgas, sowie ein unkonventionelles und damit aufwändiges Spaltgaskühlerdesign. Sie ermöglichen dabei aber dennoch erhebliche (Mehr-)Einsparungen bzw. hohe Luftvorwärmtemperaturen.

**[0016]** Für elektrisch beheizte Spaltöfen, deren Einsatzvorwärmung ohne Rauchgasabwärme erfolgen muss, kann mit der vorgeschlagenen dreistufigen Spaltgaskühlung eine vorteilhafte Balance der Wärmeintegration zwischen Nutzen, Aufwand und Risiken erreicht werden, und zwar insbesondere trotz konventioneller Ausführung der Kühler. Bei elektrisch beheizten Spaltöfen ist ein hoher Grad von Wärmeintegration hinsichtlich des Spaltgases vorteilhaft, da wegen fehlendem Rauchgas dies die einzige verbliebene interne Wärmequelle mit (erforderlichem) hohen Temperaturniveau ist. Es handelt sich um einen Ansatz, der eine Integration der verfügbaren Spaltgaswärme von bis zu 80% der maximalen, mit maximal möglichem Aufwand realisierbaren Integration für die Einsatzvorwärmung ermöglicht. Es handelt sich also um eine sogenannte 80%-Lösung, bei der mit 20% Aufwand 80% Nutzen erzielt wird.

**[0017]** Zusätzlich wird eine elegante, einfache Verschaltung zur Nutzung der Spaltgaswärme zur Luftvorwärmung an befeuerten Spaltöfen mit Gaseinsatz vorgeschlagen (indirekt über Speisewasser, bis ca. 300 °C).

**[0018]** Neben der vorteilhaften Nutzung von Spaltgaswärme wird damit gegenüber einer klassischen Luftvorwärmung mittels Rauchgas eine besonders kompakte Bauweise und flexible Aufstellung erreicht.

**[0019]** Erreicht werden diese Vorteile in einem Verfah-

ren zum Steamcracken, wobei ein Einsatzgemisch, das einen oder mehrere Kohlenwasserstoffe und Dampf enthält, einem Spaltöfen zugeführt wird, wobei dem Spaltöfen ein Spaltgas entnommen wird, wobei das Spaltgas

5 oder ein Teil hiervon einer Spaltgaskühlung unterworfen wird, wobei die Spaltgaskühlung unter Verwendung eines primären Spaltgaskühlers, eines sekundären Spaltgaskühlers und eines tertiären Spaltgaskühlers durchgeführt wird, und wobei der sekundäre Spaltgaskühler 10 stromab des primären Spaltgaskühlers und der tertiäre Spaltgaskühler stromab des sekundären Spaltgaskühlers angeordnet ist. Nachfolgend ist dabei auch von einem "sandwichartig" zwischen dem primären und tertiären Spaltgaskühlern angeordneten sekundären Spaltgaskühler, einem Feed-Effluent-Wärmetauscher oder 15 Feed-Effluent-Wärmeübertrager die Rede.

**[0020]** In dem vorgeschlagenen Verfahren wird das Einsatzgemisch oder ein Teil hiervon mittels des sekundären Spaltgaskühlers erwärmt.

**[0021]** Die Erfindung kombiniert in nachfolgend beschriebenen Aspekten und entsprechenden Ausgestaltungen insbesondere folgende Elemente für einen gefeuerten Spaltöfen:  
Ein mehrstufiges Luftvorwärmersystem mit mindestens 25 einem Luftvorwärmer extern der Konvektionszone und insbesondere indirekt gegen die Spaltgaskühlung (über Sattdampf bzw. heißes Kesselspeisewasser, insbesondere aus dem tertiären Spaltgaskühler oder einer Dampftrommel kann vorgesehen sein. Ein weiterer Luftvorwärmer kann insbesondere als konventionelles Bündel in der Konvektionszone vorgesehen sein und mittels Rauchgas erwärmt werden. Hiermit können in weiteren Ausgestaltungen zusätzliche Vorwärmstufen und Medien (ggf. auch externe Medien, Wärmequellen und dergleichen) 30 kombiniert werden.

**[0022]** Ferner kann in dieser oder anderen Ausgestaltungen eine mehrstufige Spaltgaskühlung für befeuerte und elektrisch beheizte Spaltöfen mit mindestens einem zwischenliegenden Feed-Effluent-Wärmetauscher (in 35 der erwähnten SandwichAnordnung) vorgesehen sein. Hierbei kann ein vorgeschalteter Dampferzeuger, ein nachgeschalteter Dampferzeuger oder ein Kesselspeisewasseranwärmer oder anderes bereitgestellt sein. Der zwischenliegende Feed-Effluent-Wärmetauscher, d.h. 40 der zweite Spaltgaskühler, kann insbesondere für die nachfolgend angegebenen Temperaturbereiche für Spaltgas bzw. Einsatz eingerichtet sein.

**[0023]** Der Feed-Effluent-Wärmetauscher, und damit 45 der sekundäre Spaltgaskühler, kann insbesondere in Form eines konventionelle Wärmeübertragers ausgebildet sein, beispielsweise als GeraDrohr-Wärmetauscher, insbesondere entsprechend oder angelehnt an den TE-MA-Standard. Auch Doppelrohrtypen (mit oder ohne Längsberippung) können verwendet werden, ebenso 50 wie an sich bekannte Sonderbauformen (z.B. Hairpin-Wärmeübertrager).

**[0024]** In Ausgestaltungen der Erfindung kann insbesondere eine Kombination und Verschaltung der vorste-

hend erwähnten Aspekte (Luftvorwärmung mehrstufig, davon mindestens ein Luftvorwärmer als Bündel in der Konvektionszone und mehrstufige Spaltgaskühlung mit Feed-Effluent-Wärmeübertrager) für verschiedene Ofentypen mit weiteren Varianten/Ergänzungen vorgesehen sein.

**[0025]** In alternativen Ausgestaltungen kann auch eine einstufige Luftvorwärmung gegen Speisewasser (insbesondere für einen Spalttofen für Gaseinsatz) vorgesehen sein, insbesondere im Prozessweg von der Ofengrenze (bzw. einer Kesselspeisewasserpumpe) zur Dampftrommel. Der Weg enthält dabei mindestens den letzten Spaltgaskühler (typischerweise den tertiären Spaltgaskühler).

**[0026]** In weiteren Ausgestaltungen der Erfindung können vor- und/oder nachgeschaltete Vorwärmbündel (Economizerbündel) in der Konvektionszone vorgesehen sein. Die Reihenfolge kann dabei insbesondere (ausgehend beispielsweise von einer Kesselspeisewasserpumpe) das Economizerbündel, danach den tertiären Spaltgaskühler, den Luftvorwärmer und ein weiteres Economizerbündel umfassen

**[0027]** In Ausgestaltungen der Erfindung ist auch eine Heizgasvorwärmung möglich, und zwar parallel zur ersten Stufe der Luftvorwärmung (gegen Sattdampf oder Kesselspeisewasser) oder als Konvektionszonenbündel.

**[0028]** Vorgeschlagen wird, nochmals zusammengefasst, ein dreistufiges Spaltgaskühlersystem mit Primär-, Sekundär und Tertiärkühler, wobei der Sekundärkühler zur Überhitzung von Einsatz und Dampf dient. Die SandwichAnordnung des Sekundärkühler zwischen vor- und nachgelagertem Primär- und Tertiärkühler ermöglicht die Verwendung eines konventionellen, vorgeschalteten Primärkühlers (Linear- oder Geradrohrdampferzeuger) und vermeidet Selektivitätsverluste sowie Laufzeitverluste durch zu schnelles Verkoken. Ein konventioneller nachgeschalteter Tertiärkühler kann verwendet werden (als Geradrohrtauscher zur Dampferzeugung oder als Kesselspeisewasservorwärmer). Es kann damit auf bewährte, effiziente Kühloptionen am kalten Spaltgasende bei flexiblem Temperaturfenster des Sekundärkühlers zurückgegriffen werden. Es erfolgt eine direkte Reduzierung der Dampfproduktion für gefeuerte Öfen und eine bessere Ausnutzung des hohen Spaltgastemperatureniveaus gegenüber der Dampferzeugung. Ein prozesskritischer Gesamtdruckverlust (z.B. 150 bis 200 mbar) der Spaltgaskühlung wird durch entsprechendes Design in Ausgestaltungen der Erfindung nicht oder nur kaum erhöht. Eine speiseseitige Vorwärmstrecke kann so realisiert werden, dass die Druckverluste nicht höher sind als bei konventionellen Anlagen. Feedseitig entspricht der Druckverlust des Tauschers (incl. Verrohrung) etwa dem, was ein gleichwertiges Bündel benötigt (in einem Bereich von bspw. 300 bis 1000 mbar).

**[0029]** Auch ein anpassbares Temperaturfenster durch entsprechende vor- und nachgelagerte Kühlung kann vorgesehen sein, wodurch eine an Wärmemenge

an Rahmenbedingungen oder Prozessanforderungen anpassbar wird. Die Verkokung wird dabei spaltgasseitig durch Wahl des Temperaturfensters minimiert. Auch kann hierdurch ein Precracking vermieden werden. Es

5 ergeben sich ferner eine erhöhte Flexibilität und Vorteile bei der baulichen Ausführung (Wärmetauscherfläche, Materialwahl) durch die Wahl des Temperaturfensters. Durch die vorgeschlagene Verschaltung und die daraus resultierenden Temperaturfenster kann eine deutliche  
10 Reduzierung der Baulänge erfolgen, die ohne einen nachfolgenden Tertiärkühler nicht möglich wäre. Typische Beispiele sind 6 bis 8 m Baulänge gegenüber 14 bis 20 m Baulänge.

**[0030]** Das Verhalten über die Laufzeit kann in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung vergleichbar zu den herkömmlichen Konvektionszonenbündeln wegen des positiven Verkokungsverhaltens sein. Es ist keine Regelung erforderlich.

**[0031]** In Ausgestaltungen der Erfindung können die 20 Kohlenwasserstoffe in dem Einsatzgemisch zu einem Anteil von mehr als 90% einen Siedebereich von 35 bis 400 °C aufweisen, also insbesondere aus Naphtha oder Gasöl stammen bzw. entsprechenden Schnitten entsprechen, wobei der sekundäre Spaltgaskühler mit 25 einer Spaltgaseintrittstemperatur von 550 bis 650 °C, insbesondere ca. 610 °C, einer Spaltgasaustrittstemperatur von 420 bis 520 °C, insbesondere ca. 460 °C, einer Einsatzgemischeintrittstemperatur von 270 bis 330 °C, insbesondere ca. 310 °C, und einer Einsatzgemischaustrittstemperatur von 400 bis 535 °C, insbesondere ca. 460 °C, betrieben wird.

**[0032]** In anderen Ausgestaltungen der Erfindung können die Kohlenwasserstoffe in dem Einsatzgemisch zu einem Anteil von mehr als 90% einen Siedebereich von 35 weniger als 35 °C aufweisen und insbesondere Ethan oder Propan umfassen, wobei der sekundäre Spaltgaskühler mit einer Spaltgaseintrittstemperatur von 580 bis 650 °C, insbesondere ca. 610 °C oder auch 580 bis 680 °C, insbesondere ca. 630 °C, einer Spaltgasaustrittstemperatur von 300 bis 450 °C, insbesondere ca. 370 °C oder auch 300 bis 550 °C, insbesondere ca. 360 °C, einer Einsatzgemischeintrittstemperatur von 180 bis 240 °C, insbesondere ca. 215 °C, und einer Einsatzgemischaustrittstemperatur von 400 bis 535 °C, insbesondere ca. 485 °C, betrieben wird.

**[0033]** Die genannten Bereiche stellen dabei die während der Laufzeit verwendeten Temperaturbereiche in Anbetracht der gewünschten Leistung (20 bis 50%) dar und können in entsprechender Weise gewählt oder angepasst werden.

**[0034]** In dem vorgeschlagenen Verfahren kann als der sekundäre Spaltgaskühler ein Geradrohrwärmeübertrager mit rohrseitiger Spaltgasführung verwendet werden. Rohre des sekundären Spaltgaskühlers können dabei einen Außendurchmesser von 40 bis 50 mm und eine Rohrlänge von bis zu 12 m aufweisen und/oder der sekundäre Spaltgaskühler kann mit einem Druckverlust von 10 bis 60 mbar und/oder bei bis zu 80% Schallge-

schwindigkeit betrieben werden.

**[0035]** In entsprechenden Ausgestaltungen wird ein besonders effizienter Gegenstromtauscher geschaffen. Ein Wärmetauscher nach dem TEMA-Standard (Tubular Exchanger Manufacturers Association) im sogenannten No-Tube-in-Window-Design mit vorteilhafter Quer-Längsströmung, Vermeidung von Hotspots/Pre-Cracking und vorteilhaftem Verhalten hinsichtlich Schwingungen ist möglich, ebenso wie die Verwendung von Ein- und Austrittskonen, um Blockaden der Spaltgasrohre durch Ablagerungen von Kokspartikeln zu vermeiden. In einem Wärmetauscher mit einem No-Tube-in-Window Design sind die Rohre in den Umlenkblechen so angeordnet, dass sie immer nur eine reine Queranströmung des kühlenden Mediums erfahren. Auf diese Weise kann der Wärmeaustausch in Stagnationszonen und Verwirbelungsbereichen und daher auch Fouling oder Pre-cracking vermieden werden. Zum fachmännischen Verständnis kann auf entsprechende Fachbücher, beispielsweise R.K. Shah und D.P. Sekulic, "Fundamentals of Heat Exchanger Design", John Wiley & Sons, 2003, Seiten 18 und 19, verwiesen werden.

**[0036]** Ein niedriger Prozessseitiger Druck (Mantelraum) ermöglicht Kompensatoren zur Vermeidung von Thermospannungen. Der Vorteil gegenüber einem primären Feed-Effluent-Spaltgaskühler ist insbesondere, dass kein erhöhter Druckverlust vorliegt, weil keine hohe Abkühlrate mehr erforderlich ist (was bei Gas-Gas-Tauschern nur über druckverlustintensive Maßnahmen erreichbar ist). Auch eine Ausbildung als (Linear-)Doppelrohr oder andere bekannte Ausführungen sind möglich. Dies ermöglicht eine einfache oder mehrfache Ausführung je nach Anforderung (Prozess, Mechanik, Aufstellung etc.).

**[0037]** In dem Verfahren kann der Spaltöfen unter Verwendung eines Brenngases betrieben werden, das mit Verbrennungsluft verbrannt wird, wobei die Verbrennungsluft oder ein Teil hiervon einer Verbrennungsluftvorwärmung unterworfen wird.

**[0038]** In der Strahlungszone werden den Spaltrohren über direkte Beheizung die Wärme für die Spaltreaktion zugeführt. Die Wärmebilanz der Strahlungszone des Ofens wird bestimmt durch den Wärmebedarf für die gewünschte Spaltreaktion und dem Strahlungszonenwirkungsgrad. Der Strahlungszonenwirkungsgrad ergibt sich vornehmlich aus der Luftvorwärmtemperatur und Heizgasqualität (bei typischem Luftüberschuss von 10%, gewählter Geometrie und Feuerungskonzept).

**[0039]** Typischerweise werden die Spaltöfen vornehmlich mit Restgas unterfeuert. Für Flüssigeinsatz ist dies gewöhnlich eine methanreiche Fraktion, bei Gas-einsatz eine Methan/Wasserstofffraktion. Im Hinblick auf Dekarbonisierungsbemühungen sind die Beispielrechnungen mit wasserstoffreichem bzw. ausschließlich aus Wasserstoff bestehenden Heizgas betrachtet. Damit einher geht eine (zusätzliche) Erhöhung des Strahlungszonenwirkungsgrads. Dies ist konservativ im Sinne der Betrachtung der Konvektionszone und des sekundären

Spaltgaskühlers und geht einher mit weniger hohen Luftvorwärmtemperaturen (bezogen auf Einsparung). Die Zumischung von Ammoniak ins Heizgas ist auch darstellbar.

**[0040]** In Ausgestaltungen der Erfindung kann die Verbrennungsluftvorwärmung unter Verwendung eines außerhalb einer Konvektionszone des Spaltöfens angeordneten Luftvorwärmers und danach unter Verwendung eines Luftvorwärmers in der Konvektionszone erwärmt werden. Weitere Details und Vorteile sind oben angegeben.

**[0041]** Die Verbrennungsluftvorwärmung kann unter Verwendung des Luftvorwärmers in der Konvektionszone auf eine Temperatur von mehr als 400 °C, insbesondere bis 600 °C oder bis zu 700, 750 oder 800 °C, durchgeführt werden.

**[0042]** In Ausgestaltungen der Erfindung kann der außerhalb der Konvektionszone angeordnete Luftvorwärmer unter Verwendung von Kesselspeisewasser betrieben werden, das unter Verwendung des tertiären Spaltgaskühlers erwärmt wird. Auch das Brenngas oder ein Teil hiervon kann unter Verwendung von Kesselspeisewasser vorgewärmt werden, das seinerseits dann unter Verwendung des tertiären Spaltgaskühlers erwärmt wird.

**[0043]** Das Brenngas kann einen Wasserstoffgehalt von mehr als 90% aufweisen oder es kann sich, wie erwähnt, um reinen Wasserstoff handeln. Das Brenngas kann zu einem Anteil von 70 bis 80%, beispielsweise 77%, mittels Bodenbrennern und in einem verbleibenden Anteil mittels Seitenwandbrennern verfeuert werden. Durch die mögliche hohe Luftvorwärmtemperatur im Luftvorwärmer in der Konvektionszone kann die aufwändige Luft-Zuführung zu vielen/kleinen Seitenwandbrennern vermieden werden. In hier vorgeschlagenen Ausgestaltungen wird die Verbrennungsluft der Seitenwandbrenner typischerweise unvorgewärmt verwendet, wohingegen für die Bodenbrenner eine zumindest teilweise Luftvorwärmung erfolgt. Insbesondere Neuanlagen werden zunehmend mit reiner Bodenfeuerung realisiert, aber viele Bestandsöfen weisen eine Mischfeuerung mit 30 bis 40% Seitenwand-Brennerleistung auf. Das hier vorgeschlagene Konzept ermöglicht daher auch ein erhebliches Einsparpotenzial bei Nachrüstung bei vertretbarem Umbauaufwand

**[0044]** Beispiele umfassen damit eine Mischfeuerung im Verhältnis zu 77/23 von Boden zu Wand. Eine Zufuhr vorgewärmer Zwangsluft kann dabei nur zu Bodenbrennern (in einem Temperaturbereich um 555 °C) erfolgen. Eine Zufuhr (unerwärmter) Frischluft zu den Seitenwandbrennern ergibt eine gemittelte Luftvorwärmtemperatur von im Beispiel um 430 °C. Die Einsparung von 30 bis 40% Heizgas bzw.

**[0045]** Unterfeuerungsleistung wird erreicht über einen Strahlungszonenwirkungsgrad von 50 bis 55% und eine Luftvorwärmung auf 400 bis 600 oder 700 °C.

**[0046]** Das vorgeschlagene Konzept und seine Ausgestaltungen ermöglichen eine flexible Ofenauslegung zur Unterfeuerungseinsparung für eine typische Heiz-

gasqualität (von vornehmlich Kohlenwasserstoffen (Methan) bis vornehmlich/ausschließlich Wasserstoff) und übliche Feuerungsvarianten (Bodenfeuerung, Mischfeuerung) sowie übliche Spaltrohrtypen. Eine entsprechend optimierte Paarung von Wirkungsgrad und Luftvorwärmtemperatur lässt sich finden, unter den Nebenbedingungen aus der Wärmebilanz um die Konvektionszone/Spaltgaskühlung.

**[0047]** In Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung kann der Spaltöfen auch unter Verwendung von elektrischem Strom erwärmt werden, wie insbesondere im Zusammenhang mit der Figurenbeschreibung diskutiert.

**[0048]** Der Betrieb des sekundären Spaltgaskühlers in der vorgeschlagenen Weise ermöglicht in entsprechenden elektrischen Spaltöfen ebenfalls die Ausnutzung der Spaltgaswärme zur Einsatzheizung, durch die direkte Wärmeintegration auf möglichst hohem Temperaturniveau erreicht wird. Damit wird die Vorwärmung gegen elektrischen Strom minimiert, und zwar unter minimalen Prozessrisiken (bzgl. Selektivitätsverlust, steigender Verkokung oder PreCracking), und unter Einsatz konventioneller Wärmetauscher.

**[0049]** Die Dampferzeugung erfolgt in Ausgestaltungen im primären und tertiären Spaltgaskühler (wobei der primäre Spaltgaskühler hier insbesondere als Linearkühler ausgebildet ist). In den in den Figuren veranschaulichten Ausgestaltungen kann der dabei produzierte Sattdampf in einem Einsatzvorwärmer, einem Verdünnungsdampfüberhitzer und einem Hochtemperaturbündel zur Vorwärmung von Einsatz und ggf. Prozessdampf (bis ca.300°C) genutzt werden.

**[0050]** Wenn (insbesondere bei Umbau/Nachrüstung) die Wärmebilanz der Konvektionszone nicht aufgeht, kann dies mit externen Wärmetauschern mit Sattdampf als Heizmedium ausgeglichen werden. Aufgrund der Temperaturlimitierung des Dampfes bei etwa 330 °C ist dies stromauf des Verdünnungsdampfüberhitzers möglich. Die resultierende erhöhte Prozessdampftemperatur ist für die Verdampfung des Feeds vorteilhaft.

**[0051]** Zwischen einem Einsatzvorwärmer und einem Hochtemperaturbündel kann ein Flüssigkeitszweiphasig vorliegen, so dass eine Vereinigung mit Dampf bei den erwähnten 330 °C ungünstig sein kann. Stromab des Hochtemperaturbündels kann ggf. ein "Boosten" mit entsprechendem Dampf erfolgen, wenn man deutlich unter 300 °C landet. Dies ist unproblematisch, da der feed hier rein gasförmig vorliegt.

**[0052]** Zusammengenommen wird ein Großteil der benötigten Einsatzheizung über Sattdampfnutzung und bereitgestellt: So kann 70-80% der verfügbaren Spaltgaswärme mit moderatem/akzeptablem FEX-Heizfläche für die Feed und Prozessdampfvorwärmung genutzt werden.. Das entspricht etwa 80-90% dessen, was mit einem einzelnen, technisch komplexen Primär-FEX erreichbar ist (unter der Annahme, dass auch bei diesem hohe Wandtemperaturen von >650-700°C prozessseitig unbedingt vermieden werden sollen (wegen PreCracking und möglicher Verkokung). Gegenüber einem sehr

aufwändigen mehrstufigen Primär-FEX entspricht dies immer noch 75-80% Anmerkung zum Beispiel: Bei entsprechender Aufstellung (FPH, DSS und HTC über der Dampftrommel) kann der Kondensat-Sammelbehälter und die Kondensat Rückführ-Pumpe entfallen (gravitative Kondensat-Rückführung).

**[0053]** Die vorgeschlagene Anlage zum Steamcracken ist dafür eingerichtet, ein Einsatzgemisch, das einen oder mehrere Kohlenwasserstoffe und Dampf enthält, einem Spaltöfen zuzuführen, dem Spaltöfen ein Spaltgas zu entnehmen, das Spaltgas oder einen Teil hiervon einer Spaltgaskühlung zu unterwerfen, und die Spaltgaskühlung unter Verwendung eines primären Spaltgaskühlers, eines sekundären Spaltgaskühlers und eines tertiären Spaltgaskühlers durchzuführen, wobei der sekundäre Spaltgaskühler stromab des primären Spaltgaskühlers und der tertiäre Spaltgaskühler stromab des sekundären Spaltgaskühlers angeordnet ist. Die Anlage ist dafür eingerichtet, das Einsatzgemisch oder einen Teil hiervon mittels des sekundären Spaltgaskühlers zu erwärmen.

**[0054]** Zu weiteren Merkmalen und Vorteilen einer entsprechenden Anlage und Ausgestaltungen hiervon sei auf die obigen Erläuterungen betreffend das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren und seine Ausgestaltungen ausdrücklich verwiesen, da diese hierfür in gleicher Weise gelten.

**[0055]** Entsprechendes gilt auch für eine Anlage, die gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung dazu eingerichtet ist, ein Verfahren gemäß einer beliebigen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung durchzuführen.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

**[0056]** Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend rein beispielhaft unter Bezugnahme auf die beigegebene Zeichnung unter Erläuterung des technischen Hintergrunds beschrieben.

**[0057]** Figuren 1 bis 8 veranschaulichen dabei Verfahren gemäß Ausgestaltungen der Erfindung und einer nicht erfindungsgemäßigen Ausgestaltung.

#### Ausführungsformen der Erfindung

**[0058]** Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen werden lediglich zu dem Zweck beschrieben, den Leser beim Verständnis der beanspruchten und zuvor erläuterten Merkmale zu unterstützen. Sie stellen lediglich repräsentative Beispiele dar und sollen hinsichtlich der Merkmale der Erfindung nicht abschließend und/oder beschränkend betrachtet werden. Es versteht sich, dass die zuvor und nachfolgend beschriebenen Vorteile, Ausführungsformen, Beispiele, Funktionen, Merkmale, Strukturen und/oder anderen Aspekte nicht als Beschränkungen des Umfangs der Erfindung, wie er in den Ansprüchen definiert ist, oder als Beschränkungen von Äquivalenten zu den Ansprüchen zu betrachten sind, und dass andere Ausführungsformen verwendet und

Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der beanspruchten Erfindung abzuweichen.

**[0059]** Unterschiedliche Ausführungsformen der Erfindung können weitere zweckmäßige Kombinationen der beschriebenen Elemente, Komponenten, Merkmale, Teile, Schritte, Mittel usw. umfassen, aufweisen, aus ihnen bestehen oder im Wesentlichen aus ihnen bestehen, auch wenn solche Kombinationen hier nicht spezifisch beschrieben sind. Darüber hinaus kann die Offenbarung andere Erfindungen umfassen, die gegenwärtig nicht beansprucht sind, die aber in Zukunft beansprucht werden können, insbesondere wenn sie vom Umfang der unabhängigen Ansprüche umfasst sind.

**[0060]** Erläuterungen, die sich auf Vorrichtungen, Apparate, Anordnungen, Systeme usw. gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beziehen, können auch für Verfahren, Prozesse, Methoden usw. gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gelten und umgekehrt. Gleiche, gleich wirkende, in ihrer Funktion einander entsprechende, baulich identisch oder vergleichbar aufgebaute Elemente, Verfahrensschritte usw. können mit identischen Bezugszeichen angegeben sein.

**[0061]** In den Figuren sind Anlagen gemäß Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht und insgesamt mit den nachfolgend jeweils angegebenen Bezugszeichen versehen. Diese umfassen jeweils einen Spaltöfen 10 mit einer Strahlungszone 11 und einer Konvektionszone 12.

**[0062]** In der Strahlungszone 11 sind Reaktionsrohre 111 bekannter Art angeordnet, in denen ein Gemisch aus einem unten jeweils genauer spezifizierten Reaktions-einsatz und Dampf erhitzt wird. In der Konvektionszone 11 sind, insbesondere an sich bekannter Form, d.h. in Form von Rohrbündeln, Wärmetauscher und andere Einrichtungen angeordnet, die ebenfalls unter Bezugnahme auf spezifische Ausgestaltungen weiter unten erläutert werden. Durch die Konvektionszone 12 wird, von unten nach oben in der Zeichenebene, ein Rauchgas geführt, das aus der Strahlungszone 11 ausgeleitet wird und in der Konvektionszone 12 abgekühlt wird.

**[0063]** Eine in Figur 1 veranschaulichte Anlage 100 ist für die Verarbeitung von flüssigen Einsätzen wie Naphtha eingerichtet. Ein Einsatzstrom 1 wird dabei in einem Einsatzvorwärmer 121 von einer Temperatur von insbesondere ca. 110 °C (oder allgemeiner in einem Bereich von 50 bis 130 °C, ggf. auch ca. 70 °C) auf eine Temperatur von insbesondere ca. 152 °C erwärmt, wobei das Rauchgas stromab des Einsatzvorwärmers 121 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 139 °C vorliegt.

**[0064]** Im Rauchgasstrom stromauf des Einsatzvorwärmers 121 ist eine Entstickungseinrichtung 122 angeordnet, wobei die Temperatur des Rauchgases stromauf der Entstickungseinrichtung 122 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 306 °C vorliegt. Die hier konkret genannten Temperaturen sind Beispiele, die sich durch die konkreten Designrahmenbedingungen, z.B. Rohreihen, ergeben. Anzupeilen sind hier insbesondere etwa

250 bis 400 °C Prozesstemperatur, insbesondere 300 bis 350 °C. Entsprechende Temperaturen sind evtl. auch herstellerabhängig. Bei zu tiefen Temperaturen ist mehr Katalysator wegen der geringeren Aktivität nötig, jenseits

5 von 400 °C kommen Einschränkungen durch "Versinterung" zum Tragen, insbesondere weil die Designtemperatur meist noch einen erheblichen Aufschlag bekommt. Eine Rückführleitung mit einem Gebläse ist vorgesehen, um Rauchgas von stromab der Entstickungseinrichtung

10 122 nach stromauf der Entstickungseinrichtung 122 zurückzuführen. Diese ist nicht gesondert bezeichnet.

**[0065]** Im Rauchgasstrom stromauf der Entstickungseinrichtung 122 ist ein erstes Hochtemperaturbündel 123 angeordnet, wobei die Temperatur des Rauchgases

15 stromauf des ersten Hochtemperaturbündels 123 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 438 °C vorliegt. Im Rauchgasstrom stromauf des ersten Hochtemperaturbündels 123 befindet sich ein Verdünnungsdampfüberheizer 124, wobei die Temperatur des Rauchgases

20 stromauf des Verdünnungsdampfüberhitzers 124 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 510 °C vorliegt.

**[0066]** Verdünnungsdampf 2 wird optional mittels eines Dampfvorwärmers 13 von einer Temperatur von insbesondere ca. 185 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 311 °C vorgewärmt, danach in dem Verdünnungsdampfüberheizer 124 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 456 °C überhitzt, danach mit dem in dem Einsatzvorwärmer 121 vorgewärmten Einsatz 1 vereinigt, und durch das erste Hochtemperaturbündel 123 geführt. Stromauf und/oder stromab des Hochtemperaturbündels 123 können optional weitere Wärmetauscher vorgesehen sein, die hier nicht gesondert bezeichnet sind.

**[0067]** Komponenten eines Dampfsystems umfassen

35 einen ersten Dampfüberheizer 125 und einen zweiten Dampfüberheizer 126. Sattdampf 3 aus einer Dampftrommel 14 wird dabei auf einer Temperatur von insbesondere ca. 322 °C durch den ersten Dampfüberheizer 125 geführt und auf eine Temperatur von insbesondere ca.

40 462 °C erwärmt. Nach einer Zuspeisung von Kesselspeisewasser 4 reduziert sich die Temperatur auf insbesondere ca. 451 °C, und der entsprechende Dampf wird in dem zweiten Dampfüberheizer 126 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 505 °C überhitzt. Er steht nun für beliebige Anwendungen zur Verfügung.

**[0068]** Das Gemisch aus Einsatz 1 und Dampf 2, in Figur 1 mit 5 bezeichnet, liegt nach der Erwärmung in dem ersten Hochtemperaturbündel 123 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 307 °C vor. In herkömmlichen Anlagen zum Steamcracken würde ein entsprechendes Gemisch 5 nun durch ein zweites Hochtemperaturbündel geführt, das ebenfalls in der Konvektionszone 12 angeordnet ist. Dieses ist in der Anlage 100 nicht der Fall. Eine Einrichtung, die einem derartigen zweiten Hochtemperaturbündel entspricht, ist gleichwohl in Form eines Luftvorwärmers 127 vorhanden, wobei die Temperatur des Rauchgases stromauf des Luftvorwärmers 127 bei insbesondere ca. 803 °C und stromab hiervon, und

damit stromauf des zweiten Dampfüberhitzers 126, auf einer Temperatur von insbesondere ca. 655 °C liegt.

**[0069]** Verbrennungsluft 6 wird in einem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmer 15 mit Sattdampf 9 aus der Dampftrommel 14 von einer Temperatur von insbesondere ca. 15 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 302 °C erwärmt und dann mittels des Luftvorwärmers 127 in der Konvektionszone 12 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 555 °C weiter erhitzt. Die entsprechend erhitze Verbrennungsluft 6 kann dann den Brennern, die die Strahlungszone 11 erwärmen, und welche hier nicht gesondert veranschaulicht sind, zugeführt werden.

**[0070]** Die Erwärmung des Gemischs 5 aus Einsatz 1 und Verdünnungsdampf 2 erfolgt gegen den Spaltgasstrom, wie unten erläutert, und erst dann in einem weiteren Hochtemperaturbündel 128, das hier, um eine Vergleichbarkeit mit herkömmlichen Anlagen zu vereinfachen, als drittes Hochtemperaturbündel 128 bezeichnet wird, auch wenn in der hier veranschaulichten Ausgestaltung kein klassisches zweites Hochtemperaturbündel zur Erwärmung des Gemischs 5 vorhanden ist. Eine Temperatur des Rauchgases in der Konvektionszone 12 stromauf des dritten Hochtemperaturbündels 128 liegt bei insbesondere ca. 1099 °C. Die Temperatur des Rauchgases in der Konvektionszone 12 stromab des dritten Hochtemperaturbündels 128 und stromauf des Luftvorwärmers 127 bei insbesondere ca. 803 °C.

**[0071]** In dem dritten Hochtemperaturbündel 128 wird das Gemisch 5 von einer Temperatur von insbesondere ca. 461 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 621 °C erwärmt und danach durch die Reaktionsrohre 111 in der Strahlungszone 11 geführt. Wie veranschaulicht, wird in der Strahlungszone 11 die erhitze Verbrennungsluft 6 eingesetzt, sowie Frischluft 7. Aus den Reaktionsrohren 111 in der Strahlungszone 11 wird ein Spaltgas 8 entnommen in einer Spaltgaskühlung 16 abgekühlt.

**[0072]** Die Spaltgaskühlung 16 umfasst einen primären Spaltgaskühler 161, einen sekundären Spaltgaskühler 162 und einen tertiären Spaltgaskühler 163, wobei das Spaltgas 8 stromauf des primären Spaltgaskühlers 161 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 861 °C, stromab des primären Spaltgaskühlers 161 und stromauf des sekundären Spaltgaskühlers 162 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 600 °C, stromab des sekundären Spaltgaskühlers 162 und stromauf des tertiären Spaltgaskühlers 163 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 455 °C, und stromab des tertiären Spaltgaskühlers 163 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 390 °C vorliegt.

**[0073]** Eine Kühlleistung des primären Spaltgaskühlers 161 liegt bei insbesondere ca. 16,9 MW, des sekundären Spaltgaskühlers 162 bei insbesondere ca. 8,3 MW und des tertiären Spaltgaskühlers 163 bei insbesondere ca. 3,5 MW. Der primäre Spaltgaskühler 161 und der tertiäre Spaltgaskühler 163 können insbesondere mit Kesselspeisewasser 9 aus der Dampftrommel 14 betrieben werden. Durch den sekundären Spaltgaskühler 162

wird dagegen das Gemisch 5 geführt, das dabei von einer Temperatur von insbesondere ca. 307 °C auf die erwähnte Temperatur von insbesondere ca. 461 °C erwärmt wird.

**5** **[0074]** Die Anlage 100 ist, wie erwähnt, für einen flüssigen Einsatz eingerichtet. Wie zuvor mit anderen Worten erläutert, erfolgt eine zweistufige Luftvorwärmung, und zwar erst extern der Konvektionszone 12 gegen Sattdampf 9 und danach in dem Luftvorwärmer 127 in der Konvektionszone 12. Die sekundäre Spaltgaskühlung in dem sekundären Spaltgaskühler 162 erfolgt gegen das vorgewärmte Gemisch 5 eingebettet zwischen den als klassische Hochdruckdampferzeuger arbeitenden primären und tertiären Spaltgaskühlern 161 und 163.

**10** **[0075]** Für komplexere Fälle (Einsatzflexibilität und Mischfeuerung) können hier als zusätzliche, mögliche Elemente der Dampfvorwärmer 13 sowie die alternative bzw. zusätzliche Vorwärmung des Gemischs Einsatz (z.B. gegen Sattdampf) in den erwähnten optionalen Wärmetauschern stromauf und stromab des ersten Hochtemperaturbündels 123 vorgesehen sein.

**15** **[0076]** Die in Figur 1 abgebildete Anordnung der Elemente in der Konvektionszone ist insbesondere auf einen Luftvorwärmer 17 für eine hohe Vorwärmtemperatur optimiert. Die Anordnung ist nicht zwingend, insbesondere der Verdünnungsdampfüberhitzer 124, die ersten und zweiten Dampfüberhitzer 125 und 126, der Luftvorwärmer 17, und das dritte Hochtemperaturbündel 128 können auch in anderer Reihenfolge mit entsprechenden Vorteilen angeordnet sein. So kann in einem ersten Beispiel die gesamte Verbrennungsluft vorgewärmt werden. Der Luftvorwärmer 17 wird dabei insbesondere bei 400 bis 450 °C im Rauchgas angeordnet, d.h. weiter oben. In einem zweiten Beispiel kann bei einer Luftvorwärmung auf mehr als 600 °C oder aus mechanischen und/oder materialtechnischen Überlegungen der Luftvorwärmer 17 teilweise oder vollständig als unterstes Bündel sinnvoll sein (siehe auch Figur 5).

**20** **[0077]** Auch eine Teilung der Bündel (wie beispielhaft mit den Hochdruckdampfüberhitzern 125 und 126 der Fall) sowie Stromtyp (Gegen- oder Gleichstrom), die sich aus Detailerwägungen ergeben, und eine damit einhergehende Verschachtelung ist unter Umständen möglich und vorteilhaft, hier aber nicht dargestellt.

**25** **[0078]** Ein Economizerbündel (zur Speisewasservorwärmung) ist im vorgeschlagenen Konzept der Anlage 100 nicht erforderlich und möglich, da keine Überschusswärme mehr vorhanden ist. Für geringeren Strahlungszonenwirkungsgrad bzw. geringere Luftvorwärmung kann ein solches sinnvoll eingesetzt werden (typischerweise vor und/oder nach dem Einsatzvorwärmer 11, nicht dargestellt).

**30** **[0079]** Für schwerere und schwere Einsätze wird typischerweise mindestens eine weitere Mischstelle für überhitzten Prozessdampf erforderlich. Diese kann z.B. zwischen den Teilen eines geteilten ersten Hochdruckbündels oder auch nach dem sekundären Spaltgaskühler 162 angeordnet sein (nicht dargestellt).

**[0080]** Betriebsparameter der Anlage 100 können insbesondere einen Betrieb mit Naphtha als Einsatz bei einer gemischten Befeuerung in einem Verhältnis von insbesondere ca. 77 zu 23 (percentuale Anteile bezogen auf den unteren Heizwert), einen Strahlungszonenwirkungsgrad von 54% bei 78 Molprozent Wasserstoff im Heizgas, eine Gesamtunterfeuerung von 73 MW, wobei 10 MW auf sensible Wärme (in der Verbrennungsluft 6) entfallen, eine genutzte Wärmemenge von 40 MW in der Strahlungszone 11 und 29 MW in der Konvektionszone 12 umfassen.

**[0081]** Die Luftvorwärmung auf insbesondere ca. 555 °C betrifft die Verbrennungsluft 6, die den Bodenbrennern in der Strahlungszone 11 zugeführt wird, im Mittel beträgt die Verbrennungslufttemperatur insbesondere ca. 430 °C. Es kann beispielsweise Einsatz 1 in einer Menge von 48 t/h mit einem Verhältnis von Propylen zu Ethylen von 0,45 verarbeitet werden. Dampf kann in einer Menge von 22 t/h auf insbesondere ca. 115 bar und einer Temperatur von insbesondere ca. 505 °C bereitgestellt werden.

**[0082]** Es ergibt sich gegenüber herkömmlichen Anlagen in der Anlage 100 insbesondere eine Reduzierung der Unterfeuerungsleistung von 33% (bezogen auf den unteren Heizwert) und eine um 64% reduzierte Menge von Hochdruckdampf.

**[0083]** Eine in Figur 2 veranschaulichte Anlage 200 ist für die Verarbeitung von gasförmigen Einsätzen wie Ethan und anderen Gemischen eingerichtet, wobei ein entsprechender Einsatz hier aber weiterhin mit 1 bezeichnet ist.

**[0084]** Hierbei ist in der Konvektionszone 12 stromauf des Einsatzvorwärmers 121 und stromab der Entstickungseinrichtung 122 ein Economizerbündel 129 angeordnet. Ein Verdünnungsdampfüberhitzer 124 fehlt dagegen. Die Temperaturen des Rauchgases in der Konvektionszone 12 liegen stromauf des dritten Hochtemperaturbündels 128 bei insbesondere ca. 1141 °C, stromab hiervon und stromauf des Luftvorwärmers 127 bei insbesondere ca. 853 °C, stromab hiervon und stromauf des zweiten Dampfüberhitzers 126 bei insbesondere ca. 624 °C, stromab des ersten Dampfüberhitzers 125 und stromauf der Entstickungseinrichtung 122 bei insbesondere ca. 376 °C, stromab des Economizerbündels 129 und stromauf des Einsatzvorwärmers 121 bei insbesondere ca. 259 °C, und stromab des Einsatzvorwärmers 121 bei insbesondere ca. 100 °C.

**[0085]** Der Einsatz 1 wird in dem Einsatzvorwärmer 121 von einer Temperatur von insbesondere ca. 70 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 210 °C erwärmt, bevor unter Erhalt eines Gemischs, das auch hier mit 5 bezeichnet wird, Verdünnungsdampf 2 zugespeist wird. Eine weitere Erwärmung des Gemischs 5 erfolgt auch hier in dem sekundären Spaltgaskühler 162, und zwar von einer Temperatur von insbesondere ca. 203 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 483 °C. Die sich anschließende Erwärmung in dem dritten Hochtemperaturbündel 128 erfolgt auf eine Temperatur von insbe-

sondere ca. 642 °C.

**[0086]** Das Spaltgas 8 wird den Reaktionsrohren 111 in der Strahlungszone 11 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 842 °C entnommen. Im primären Spaltgaskühler 161 erfolgt eine Abkühlung auf insbesondere ca. 600 °C, im sekundären Spaltgaskühler 162 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 355 °C, und im tertiären Spaltgaskühler 163 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 180 °C. Eine Kühlleistung des primären Spaltgaskühlers 161 liegt bei insbesondere ca. 15,1 MW, des sekundären Spaltgaskühlers 162 bei insbesondere ca. 14,6 MW und des tertiären Spaltgaskühlers 163 bei insbesondere ca. 8,8 MW. Der primäre Spaltgaskühler 161 kann insbesondere mit Kesselspeisewasser 9 aus der Dampftrommel 14 betrieben werden. Durch den sekundären Spaltgaskühler 162 wird wie zuvor das Gemisch 5 geführt.

**[0087]** Der tertiäre Spaltgaskühler 163 wird mit Kesselspeisewasser 4, insbesondere von der Anlagengrenze, betrieben, das in dem tertiären Spaltgaskühler 163 von einer Temperatur von insbesondere ca. 114 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 311 °C aufgeheizt wird. Eine anschließende Abkühlung erfolgt in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmer 15 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 175 °C, bevor das Kesselspeisewasser 4 in dem Economizerbündel 129 eine Erwärmung auf eine Temperatur von insbesondere ca. 255 °C erfährt und anschließend in die Dampftrommel 14 eingespeist werden kann. Die Dampftrommel 14 wird auf einem Druck von insbesondere ca. 120 bar und einer Temperatur von insbesondere ca. 325 °C betrieben.

**[0088]** Der Sattdampf 3 aus der Dampftrommel 14 wird auf einer Temperatur von insbesondere ca. 325 °C dem ersten Dampfüberhitzer 125 zugeführt und dort auf eine Temperatur von insbesondere ca. 470 °C erwärmt. Nach einer Zuspeisung von Kesselspeisewasser 4 reduziert sich die Temperatur auf insbesondere ca. 435 °C, und der entsprechende Dampf wird in dem zweiten Dampfüberhitzer 126 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 515 °C überhitzt.

**[0089]** Die Verbrennungsluft 6 wird in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmer 15 von einer Temperatur von insbesondere ca. 15 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 291 °C erwärmt, insbesondere gegen kondensierenden Sattdampf aus der Dampftrommel 14, und dann mittels des Luftvorwärmers 127 in der Konvektionszone 12 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 600 °C weiter erhitzt. Die entsprechend erhitzte Verbrennungsluft 6 kann dann den Brennern, die die Strahlungszone 11 erwärmen, und welche hier nicht gesondert veranschaulicht sind, zugeführt werden.

**[0090]** Die in Anlage 200 realisierte Prozessführung für Gaseinsatz umfassen, mit anderen Worten, eine erste Stufe der Verbrennungsluftvorwärmung in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten Luftvorwärmer 15 mit Speisewasser, das im tertiären Spaltgaskühler

163 erwärmt wurde, gefolgt von der Verbrennungsluftvorwärmung in dem Luftvorwärmer 127 in der Konvektionszone 12. Die Spaltgaskühlung in dem sekundären Spaltgaskühler 162 wird gegen das entsprechend erwärmte Gemisch 5 aus Einsatz 1 und Verdünnungsdampf 2 vorgenommen, eingebettet wiederum zwischen den in Form klassischer Hochdruckdampferzeuger betriebenen primären und tertiären Spaltgaskühlern 161 und 163. Die erwünschte hohe Luftvorwärmtemperatur von im Beispiel 600 °C wird günstigerweise über reine Bodenfeuerung (große, wenige Brenner mit wenig Verrohrungsaufwand) ergänzt.

**[0091]** Das Beispiel erreicht bereits eine beachtliche Einsparung von insbesondere ca. 35% Heizgas und ist dabei an keiner der üblichen Stellen kritisch. Es erfolgt eine ausreichende Hochdruckdampfüberhitzung in den Hochdruckdampfüberhitzern 125 und 126, und es liegen unkritische (Rohrwand-) Temperaturen in den Spaltgas-kühlern 161, 162 und 163 bei ausreichender Temperaturdifferenz für eine kompakte Bauweise vor. Dies gilt auch für die anderen Einrichtungen in der Konvektionszone.

**[0092]** Betriebsparameter der Anlage 200 können insbesondere einen Betrieb mit Ethan als Einsatz bei einer reinen Bodenfeuerung, eine Luftvorwärmung auf 600 °C, und einen Strahlungszonenwirkungsgrad von 57% bei 100 Molprozent Wasserstoff als Heizgas umfassen. Es kann beispielsweise Einsatz 1 in einer Menge von 51 t/h mit einer Umsetzung von 60% bearbeitet werden.

**[0093]** Es ergibt sich gegenüber herkömmlichen Anlagen in der Anlage 200 insbesondere eine Reduzierung der Unterfeuerungsleistung von, wie erwähnt, 35% (bezogen auf den unteren Heizwert) und eine um 53% reduzierte Menge von Hochdruckdampf.

**[0094]** Eine in Figur 3 veranschaulichte Anlage 300 ist für die Verarbeitung von gasförmigen Einsatzten wie Propan und anderen Gemischen eingerichtet, wobei ein entsprechender Einsatz hier noch immer mit 1 bezeichnet ist.

**[0095]** Hierbei sind in der Konvektionszone 12 stromauf des Einsatzvorwärmers 121 und stromab der Entstickungseinrichtung 122 ein erstes Economizerbündel 129a und ein zweites Economizerbündel 129b angeordnet. Ein Verdünnungsdampfüberhitzer 124 fehlt wie in Anlage 200. Die Temperaturen des Rauchgases in der Konvektionszone 12 entsprechen teilweise jenen der Anlage 200, wobei eine Temperatur zwischen dem ersten Economizerbündel 129a und dem zweiten Economizerbündel 129b bei insbesondere ca. 307 °C liegen kann und eine Temperatur stromauf der Entstickungseinrichtung 122 und stromab des ersten Hochdruckdampfüberhitzers 125 bei insbesondere ca. 394 °C liegen kann.

**[0096]** Der Einsatz 1 wird in dem Einsatzvorwärmer 121 wie zu Anlage 200 angegeben erwärmt, bevor unter Erhalt eines Gemischs, das auch hier mit 5 bezeichnet wird, Verdünnungsdampf 2 zugespeist wird. Eine weitere Erwärmung des Gemischs 5 erfolgt auch hier in dem sekundären Spaltgaskühler 162, und danach in dem dritten Hochtemperaturbündel 128. Die Temperaturen

entsprechen dabei insbesondere jenen, die bereits zu der Anlage 200 erläutert wurden.

**[0097]** Das Spaltgas 8 wird den Reaktionsrohren 111 in der Strahlungszone 11 auf einer Temperatur entnommen, die insbesondere den Temperaturen gemäß Anlage 200 entsprechen kann. Dies gilt auch für die Abkühlung im primären Spaltgaskühler 161 und im sekundären Spaltgaskühler 162. Im tertiären Spaltgaskühler 163 wird dagegen eine Temperatur von insbesondere ca. 230 °C erreicht, so dass sich hier eine Kühlleistung von insbesondere ca. 6,9 MW ergibt. Die hier und nachfolgend angegebenen konkreten Leistungsangaben sind Beispiele und insbesondere im Bezug auf eine Gesamtspaltgaskühlung von im Beispiel knapp 29 MW zu verstehen.

**[0098]** Der tertiäre Spaltgaskühler 163 wird hier mit Kesselspeisewasser 4, und zwar insbesondere von der Anlagengrenze, betrieben, das aber zuvor in dem ersten Economizerbündel 129a von einer Temperatur von insbesondere ca. 114 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 150 °C aufgeheizt wird. Die weitere Erwärmung erfolgt insbesondere wie in der Anlage 200 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 311 °C. Die nachfolgenden Temperaturen des Kesselspeisewassers 4, und die sich für die Verbrennungsluft 6 ergebenden Temperaturen, entsprechen jenen in der Anlage 200, wobei in dem zweiten Economizerbündel 129b die erwähnte Temperatur von insbesondere ca. 255 °C erreicht wird.

**[0099]** Die sich für den Sattdampf 3 ergebenden Temperaturen in dem ersten Dampfüberhitzer 125 und dem zweiten Dampfüberhitzer entsprechen ebenfalls den bereits zu Anlage 200 erläuterten. Ein Unterschied ergibt sich in der geringeren Dampfmenge, die in Anlage 300 produziert wird.

**[0100]** Die Anlage 300 ist insbesondere für einen Gaseinsatz mit signifikantem Propananteil ausgelegt. Die zunehmenden Verlegungstendenzen aufgrund der Propanspaltung werden durch erhöhte Rohrwandtemperaturen im tertiären Spaltgaskühler 163 adressiert, insbesondere in Form der Speisewasservorwärmung in dem ersten Economizerbündel 129a stromauf des tertiären Spaltgaskühlers 163 und der erhöhten Spaltgasaustrittstemperatur. Die Dampfproduktion an Hochdruckdampf ist damit naturgemäß etwas geringer bei gleicher Heizgaseinsparung und den anderen genannten Randbedingungen.

**[0101]** Es wäre wünschenswert, die hier gezeigte Teilung in das erste und zweite Economizerbündel 129a, 129b im Speisewasserweg wegen des damit verbundenen Aufwands zu vermeiden, also auf das zweite Economizerbündel 129b zu verzichten. Um die Vergleichbarkeit mit den zu Anlage 200 gezeigten Prozessdaten zu gewährleisten, wurde dies hier jedoch zu Anlage 300 nicht versucht bzw. gezeigt.

**[0102]** Betriebsparameter der Anlage 300 können insbesondere einen Betrieb mit Ethan als Einsatz bei einer reinen Bodenfeuerung und eine Luft- bzw. Heizgasvor-

wärmung auf 595 bzw. 290 °C, einen Strahlungszonenwirkungsgrad von 58% bei 100 Molprozent Wasserstoff als Heizgas umfassen. Es kann beispielsweise Einsatz 1 in einer Menge von 51 t/h mit einer Umsetzung von 60 % bearbeitet werden.

**[0103]** Es ergibt sich gegenüber herkömmlichen Anlagen in der Anlage 300 insbesondere eine Reduzierung der Unterfeuerungsleistung von 35% (bezogen auf den unteren Heizwert) und eine um 58% reduzierte Menge von Hochdruckdampf.

**[0104]** Eine in Figur 4 veranschaulichte Anlage 400 ist für die Verarbeitung von gasförmigen Einsätzen wie Ethan und anderen Gemischen eingerichtet, wobei ein entsprechender Einsatz hier noch immer mit 1 bezeichnet ist. Ferner ist in der Anlage 400 eine Heizgasvorwärmung vorgesehen, die weiter unten erläutert wird.

**[0105]** Die Temperaturen des Rauchgases in der Konvektionszone 12 von Anlage 400 liegen stromauf des dritten Hochtemperaturbündels 128 insbesondere bei ca. 1139 °C, stromab hiervon und stromauf des Luftvorwärmers 127 insbesondere bei ca. 839 °C, stromab hiervon und stromauf des zweiten Hochdruckdampfüberhitzers 126 insbesondere bei 616 °C, stromab des ersten Hochdruckdampfüberhitzers 125 und stromauf der Entstickungseinrichtung 122 insbesondere bei ca. 383 °C, stromab des hier wieder nur einen Economizerbündels 129 und stromauf des Einsatzvorwärmers 121 insbesondere bei ca. 266 °C und stromab hiervon insbesondere bei ca. 100 °C.

**[0106]** Das Spaltgas 8 wird den Reaktionsrohren 111 in der Strahlungszone 11 auf einer Temperatur entnommen, die insbesondere den Temperaturen gemäß den Anlagen 200 und 300 entsprechen kann. Dies gilt auch für die Abkühlung im primären Spaltgaskühler 161. Im sekundären Spaltgaskühler 162 wird dagegen eine Temperatur von insbesondere ca. 365 °C erreicht, bei gleicher Kühlleistung. Im tertiären Spaltgaskühler 163 wird eine Temperatur von insbesondere ca. 180 °C erreicht, so dass sich hier eine Kühlleistung von insbesondere ca. 8,8 MW ergibt.

**[0107]** Der Sattdampf 3 aus der Dampftrommel 14 wird auf einer Temperatur von insbesondere ca. 325 °C dem ersten Dampfüberhitzer 125 zugeführt und dort auf eine Temperatur von insbesondere ca. 480 °C erwärmt. Nach einer Zuspeisung von Kesselspeisewasser 4 reduziert sich die Temperatur auf insbesondere ca. 445 °C, und der entsprechende Dampf wird in dem zweiten Dampfüberhitzer 126 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 515 °C überhitzt.

**[0108]** Der tertiäre Spaltgaskühler 163 wird auch hier mit Kesselspeisewasser 4, insbesondere von der Anlagengrenze, betrieben, das in diesem ohne Vorwärmung in der Konvektionszone 12 von einer Temperatur von wie oben insbesondere ca. 114 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 325 °C aufgeheizt wird. Eine anschließende Abkühlung erfolgt parallel in Anteilen 4a und 4b in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmern 15 einerseits und einem Brenngas-

vorwärmer 21 andererseits. Nach der erneuten Vereinigung der entsprechenden Anteile liegt eine Temperatur von insbesondere ca. 134 °C vor, bevor in dem Economizerbündel 129 eine Erwärmung auf eine Temperatur von insbesondere ca. 221 °C und anschließend eine Einspeisung in die Dampftrommel 14 vorgenommen werden kann. Die Dampftrommel 14 wird auch hier auf einem Druck von insbesondere ca. 120 bar und einer Temperatur von insbesondere ca. 325 °C betrieben.

**[0109]** Heizgas 22 wird in dem Heizgasvorwärmer 21 von einer Temperatur von insbesondere ca. 50 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 290 °C erwärmt und auf dieser Temperatur in den Brennern der Strahlungszone 11 verwendet. Die Verbrennungsluft 6 wird in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmern 15 von einer Temperatur von insbesondere ca. 15 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 295 °C erwärmt und dann mittels des Luftvorwärmers 127 in der Konvektionszone 12 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 595 °C weiter erhitzt, bevor sie ebenfalls den Brennern zugeführt wird.

**[0110]** In Anlage 400 ist damit eine Prozessführung mit Heizgasvorwärmung gegen Speisewasser 4b parallel zur ersten Stufe der Luftvorwärmung realisiert. Mit gleichen Temperatur- und Leistungsanforderungen am sekundären Spaltgaskühler 162 kann die Heizgaseinsparung hiermit weiter gesteigert werden.

**[0111]** Betriebsparameter der Anlage 400 können insbesondere einen Betrieb mit Ethan als Einsatz bei einer reinen Bodenfeuerung und eine Luft- bzw. Heizgasvorwärmung auf 595 bzw. 290 °C, einen Strahlungszonenwirkungsgrad von 58% bei 100 Molprozent Wasserstoff als Heizgas umfassen. Es kann beispielsweise Einsatz 1 in einer Menge von 51 t/h mit einer Umsetzung von 60 % bearbeitet werden.

**[0112]** Es ergibt sich gegenüber herkömmlichen Anlagen in der Anlage 400 insbesondere eine Reduzierung der Unterfeuerungsleistung von 37% (bezogen auf den unteren Heizwert) und eine um 58% reduzierte Menge von Hochdruckdampf.

**[0113]** Eine in Figur 5 veranschaulichte Anlage 500 ist für die Verarbeitung von gasförmigen Einsätzen wie Ethan und anderen Gemischen eingerichtet, wobei ein entsprechender Einsatz hier noch immer mit 1 bezeichnet ist. Ferner ist in der Anlage 500 eine Heizgasvorwärmung vorgesehen, die weiter unten erläutert wird, und die in die Konvektionszone 12 integriert ist.

**[0114]** Die Temperaturen des Rauchgases in der Konvektionszone 12 von Anlage 500 liegen stromauf des dritten Hochtemperaturbündels 128 insbesondere bei ca. 1137 °C, stromab hiervon und stromauf des Luftvorwärmers 127 insbesondere bei ca. 869 °C, stromab hiervon und stromauf des zweiten Hochdruckdampfüberhitzers 126 insbesondere bei 597 °C, stromab des ersten Hochdruckdampfüberhitzers 125 und stromauf der Entstickungseinrichtung 122 insbesondere bei ca. 376 °C, stromab eines hier in die Konvektionszone 12 integrierten Heizgasvorwärmers, der wie in Anlage 4 mit

21 bezeichnet ist, und stromauf des hier wieder nur einen Economizerbündels 129 bei insbesondere ca. 299 °C, stromab hiervon und stromauf des Einsatzvorwärmers 121 insbesondere bei ca. 246 °C, und stromab hiervon insbesondere bei ca. 100 °C.

**[0115]** Das Spaltgas 8 wird den Reaktionsrohren 111 in der Strahlungszone 11 auf einer Temperatur entnommen, die insbesondere den Temperaturen gemäß den Anlagen 200, 300 und 400 entsprechen kann. Im primären Spaltgaskühler 161 erfolgt eine Abkühlung von insbesondere ca. 620 °C, bei einer Kühlleistung von insbesondere ca. 13,8 MW. Im sekundären Spaltgaskühler 162 wird eine Temperatur von insbesondere ca. 340 °C erreicht, bei einer Kühlleistung von insbesondere ca. 16,7 MW. Im tertiären Spaltgaskühler 163 ergibt sich eine Temperatur von insbesondere ca. 180 °C, bei einer Kühlleistung von insbesondere ca. 8 MW.

**[0116]** Der Sattdampf 3 aus der Dampftrommel 14 wird auf einer Temperatur von insbesondere ca. 316 °C dem ersten Dampfüberhitzer 125 zugeführt. Die weiteren Temperaturen entsprechen insbesondere den zu Anlage 400 erläuterten.

**[0117]** Der tertiäre Spaltgaskühler 163 wird auch hier mit Kesselspeisewasser 4, insbesondere von der Anlagengrenze, betrieben, das in diesem in dem zu Anlage 400 erläuterten Umfang aufgeheizt wird. Eine anschließende Abkühlung erfolgt in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmer 15 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 176 °C, bevor in dem Economizerbündel 129 eine Erwärmung auf eine Temperatur von insbesondere ca. 217 °C und anschließend eine Einspeisung in die Dampftrommel 14 vorgenommen werden kann. Die Dampftrommel 14 wird auf einem Druck von insbesondere ca. 120 bar und einer Temperatur von insbesondere ca. 325 °C betrieben, wie auch bereits zu vorigen Anlagen erläutert.

**[0118]** Heizgas 22 wird in dem Heizgasvorwärmer 21 in der Konvektionszone 12 von einer Temperatur von insbesondere ca. 50 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 322 °C erwärmt und auf dieser Temperatur in den Brennern der Strahlungszone 11 verwendet. Die Verbrennungsluft 6 wird in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmer 15 in dem zu Anlage 400 erläuterten Umfang erwärmt und dann mittels des Luftvorwärmers 127 in der Konvektionszone 12 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 660 °C weiter erhitzt, bevor sie ebenfalls den Brennern in der Strahlungszone 11 zugeführt wird.

**[0119]** Die in Anlage 500 realisierte Prozessführung mit Heizgasvorwärmung in der Konvektionszone 12 kann es ermöglichen, bei gleichzeitig verschärften Temperatur- und Leistungsanforderungen am sekundären Spaltgaskühler 162 und ähnlichen an den anderen Wärmeübertragern, gegenüber der zu Anlage 400 erläuterten Heizgasvorwärmung nach die Heizgaseinsparung nochmals zu steigern.

**[0120]** Betriebsparameter der Anlage 500 können insbesondere einen Betrieb mit Ethan als Einsatz bei einer

reinen Bodenfeuerung und eine Luft- bzw. Einsatzvorwärmung auf 660 und 322 °C und einen Strahlungszonenwirkungsgrad von 59% bei 100 Molprozent Wasserstoff als Heizgas umfassen. Es kann beispielsweise 5 Einsatz 1 in einer Menge von 51 t/h mit einer Umsetzung von 60 % bearbeitet werden.

**[0121]** Es ergibt sich gegenüber herkömmlichen Anlagen in der Anlage 500 insbesondere eine Reduzierung der Unterfeuerungsleistung von 40% (bezogen auf den unteren Heizwert) und eine um 62% reduzierte Menge 10 von Hochdruckdampf.

**[0122]** Eine in Figur 6 veranschaulichte Anlage 600 ist für die Verarbeitung von gasförmigen Einsätzen wie Ethan und anderen Gemischen eingerichtet, wobei ein 15 entsprechender Einsatz hier noch immer mit 1 bezeichnet ist. Eine Heizgasvorwärmung ist nicht vorgesehen, die Verbrennungsluftvorwärmung umfasst insgesamt drei Stufen unter Verwendung des extern der Konvektionszone 12 angeordneten Luftvorwärmers 15 und zweier Luftvorwärmer 127a und 127b in der Konvektionszone.

**[0123]** Die Temperaturen des Rauchgases in der Konvektionszone 12 von Anlage 600 liegen stromauf des zweiten Luftvorwärmers 127b insbesondere bei ca. 1137 25 °C, stromab hiervon und stromauf des dritten Hochtemperaturbündels 128 insbesondere bei ca. 1006 °C, stromab hiervon und stromauf des ersten Luftvorwärmers 127a insbesondere bei 777 °C, stromab hiervon und stromauf des zweiten Hochdruckdampfüberhitzers 30 126 insbesondere bei ca. 571 °C, stromab des ersten Hochdruckdampfüberhitzers 125 und stromauf der Entstickungseinrichtung 122 insbesondere bei ca. 348 °C, stromab des Economizerbündels 129 und stromauf des Einsatzvorwärmers 121 insbesondere bei ca. 272 °C, 35 und stromab hiervon insbesondere bei ca. 100 °C.

**[0124]** Das Spaltgas 8 wird den Reaktionsrohren 111 in der Strahlungszone 11 wie zuvor auf einer Temperatur von insbesondere ca. 824 °C entnommen. Die Abkühlung im primären Spaltgaskühler 161 erfolgt auf eine 40 Temperatur von insbesondere ca. 630 °C, bei einer Kühlleistung von insbesondere ca. 13,1 MW. Im sekundären Spaltgaskühler 162 wird eine Temperatur von insbesondere ca. 340 °C erreicht, bei einer Kühlleistung von insbesondere ca. 17,3 MW. Im tertiären Spaltgaskühler 45 163 ergibt sich eine Temperatur von insbesondere ca. 180 °C, die Kühlleistung in dem tertiären Spaltgaskühler 163 beträgt insbesondere ca. 8 MW.

**[0125]** Der Sattdampf 3 aus der Dampftrommel 14 wird auf einer Temperatur von insbesondere ca. 325 °C dem 50 ersten Dampfüberhitzer 125 zugeführt. Die weiteren Temperaturen entsprechen den zu Anlage 400 und 500 erläuterten. Die Dampftrommel 14 wird auch hier auf einem Druck von insbesondere ca. 120 bar und einer Temperatur von insbesondere ca. 325 °C betrieben.

**[0126]** Der tertiäre Spaltgaskühler 163 wird auch hier mit Kesselspeisewasser 4, insbesondere von der Anlagengrenze, betrieben, das in diesem von einer Temperatur von insbesondere ca. 114°C auf eine Temperatur

von insbesondere ca. 326 °C aufgeheizt wird. Eine anschließende Abkühlung erfolgt in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmer 15 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 176 °C, bevor in dem Economizerbündel 129 eine Erwärmung auf eine Temperatur von insbesondere ca. 235 °C und anschließend eine Einspeisung in die Dampftrommel 14 vorgenommen werden kann.

**[0127]** Die Verbrennungsluft 6 wird in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmer 15 von einer Temperatur von insbesondere ca. 15 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 296 °C erwärmt und danach mittels des ersten Luftvorwärmers 127a in der Konvektionszone 12 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 570 °C und mittels des zweiten Luftvorwärmers 127b in der Konvektionszone 12 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 750 °C weiter erhitzt, bevor sie ebenfalls den Brennern in der Strahlungszone 11 zugeführt wird.

**[0128]** Betriebsparameter der Anlage 600 können insbesondere einen Betrieb mit Ethan als Einsatz bei einer reinen Bodenfeuerung und eine Luftvorwärmung auf 750 °C und einen Strahlungszonenwirkungsgrad von 59% bei 100 Molprozent Wasserstoff als Heizgas umfassen. Es kann beispielsweise Einsatz 1 in einer Menge von 51 t/h mit einer Umsetzung von 60 % bearbeitet werden.

**[0129]** Es ergibt sich gegenüber herkömmlichen Anlagen in der Anlage 600 insbesondere eine Reduzierung der Unterfeuerungsleistung von 40% (bezogen auf den unteren Heizwert) und eine um 62% reduzierte Menge von Hochdruckdampf.

**[0130]** Mit Anlage 600 lässt sich die gleiche, hohe Heizgaseinsparung wie in Anlage 500, aber ohne Heizgasvorwärmung, erzielen. Stattdessen wird eine zweistufige Verbrennungsluftvorwärmung in der Konvektionszone zur Darstellung der sehr hohen Lufttemperatur vorgenommen.

**[0131]** Eine in Figur 7 veranschaulichte Anlage 700 ist für die Verarbeitung von gasförmigen Einsätzen wie Ethan bzw. Propan und anderen Gemischen eingerichtet, wobei ein entsprechender Einsatz hier noch immer mit 1 bezeichnet ist. Die Verbrennungsluftvorwärmung erfolgt unter Verwendung von Kesselspeisewasser, ferner ist eine zweistufige Einsatzvorwärmung in Einsatzvorwärmern 121a und 121b vorgesehen, bevor die Vereinigung mit dem Verdünnungsdampf 2 erfolgt.

**[0132]** Die Temperaturen des Rauchgases in der Konvektionszone 12 von Anlage 600 liegen stromauf des dritten Hochtemperaturbündels 128 insbesondere bei ca. 1127 °C, stromab hiervon und stromauf des zweiten Hochdruckdampfüberhitzers 126 insbesondere bei ca. 624 °C, stromab des ersten Hochdruckdampfüberhitzers 125 und stromauf des hier angeordneten ersten Hochtemperaturbündels 123 insbesondere bei ca. 438 °C, stromab hiervon und stromauf der Entstickungseinrichtung 122 insbesondere bei ca. 305 °C, stromab eines zweiten Einsatzvorwärmers 121b und stromauf des Economizerbündels 129 insbesondere bei ca. 218 °C, strom-

ab hiervon und stromauf eines ersten Einsatzvorwärmers 121a insbesondere bei ca. 161 °C, und stromab hiervon insbesondere bei ca. 116 °C.

**[0133]** Das Spaltgas 8 wird den Reaktionsrohren 111 in der Strahlungszone 11 auf einer Temperatur von insbesondere ca. 833 °C entnommen. Die Abkühlung im primären Spaltgaskühler 161 erfolgt auf eine Temperatur von insbesondere ca. 525 °C, bei einer Kühlleistung von insbesondere ca. 14,5 MW. Im sekundären Spaltgaskühler 162 wird eine Temperatur von insbesondere ca. 400 °C erreicht, bei einer Kühlleistung von insbesondere ca. 5,3 MW. Im tertiären Spaltgaskühler 163 ergibt sich eine Temperatur von insbesondere ca. 200 °C, die Kühlleistung in dem tertiären Spaltgaskühler 163 beträgt insbesondere ca. 7,5 MW.

**[0134]** Der Satt dampf 3 aus der Dampftrommel 14 wird auf einer Temperatur von insbesondere ca. 317 °C dem ersten Dampfüberhitzer 125 zugeführt. An dessen Ausgang liegt eine Temperatur von insbesondere ca. 447 °C vor. Am Eingang des zweiten Dampfüberhitzers 126 liegt eine Temperatur von insbesondere ca. 396 °C vor, am Ausgang eine Temperatur von insbesondere ca. 510 °C.

**[0135]** Der tertiäre Spaltgaskühler 163 wird auch hier mit Kesselspeisewasser 4, insbesondere von der Anlagengrenze, betrieben, das aber erst indem Economizerbündel 129 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 153 °C vorgewärmt wird. Das Kesselspeisewasser 4 wird in dem tertiären Spaltgaskühler 163 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 301 °C aufgeheizt. Eine anschließende Abkühlung erfolgt in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmer 15 auf eine Temperatur von insbesondere ca. 197 °C, auf der es anschließend in die Dampftrommel 14 eingespeist werden kann. Auch der sekundäre Spaltgaskühler 162 wird hier mit Kesselspeisewasser 9 aus der Dampftrommel 14 betrieben, das auf einer Temperatur von insbesondere ca. 187 °C in den sekundären Spaltgaskühler 162 eingespeist wird. Die Dampftrommel 14 wird auf einem Druck von insbesondere ca. 108 bar und einer Temperatur von insbesondere ca. 317 °C betrieben.

**[0136]** Die Verbrennungsluft 6 wird in dem extern der Konvektionszone 12 angeordneten weiteren Luftvorwärmer 15 von einer Temperatur von insbesondere ca. 15 °C auf eine Temperatur von insbesondere ca. 250 °C erwärmt, bevor sie auf dieser Temperatur den Brennern in der Strahlungszone 11 zugeführt wird.

**[0137]** Betriebsparameter der Anlage 700 können insbesondere einen Betrieb mit Ethan als Einsatz bei einer reinen Bodenfeuerung und eine Luftvorwärmung auf 250 °C und einen Strahlungszonenwirkungsgrad von 49% bei der Verwendung von wasserstoffreichem (79 Molprozent) Heizgas umfassen. Es kann beispielsweise Einsatz 1 in einer Menge von 36 t/h mit einer Umsetzung von 65 % bearbeitet werden.

**[0138]** Es ergibt sich gegenüber herkömmlichen Anlagen in der Anlage 700 insbesondere eine Reduzierung der Unterfeuerungsleistung von 18% (bezogen auf den unteren Heizwert) und eine um 30% reduzierte Menge

von Hochdruckdampf.

**[0139]** Die Anlage 700 weist gegenüber einer Anlage mit klassischer Luftvorwärmung durch Rauchgas (Rauchgasnutzung unterhalb ca. 300 °C kombiniert mit Einsatz- bzw. Dampfanwärmung im tertiären Spaltgas- kühler 163) deutliche Vorteile, die umfassen, dass kein Risiko für eine Kondensation im Rauchgas besteht und eine aufwändige Luftvorwärmstufe oder verringerte Rauchgasausnutzung entfällt. Eine kompaktere Bauweise des Luftvorwärmers 17 gegenüber einem Luftvorwärmer 127 im Rauchgaskanal ist möglich. Aufwändige und große Rauchgaskanäle entfallen und es ist ein flexibler Aufstellungsort möglich. Mit einem einfachen Speisewasser-Umgang am Luftvorwärmer 17 erreicht man Flexibilität bezüglich Luftvorwärm-Temperatur, Dampfproduktion und Heizgasverbrauch. Es ergeben sich eine geringere Leistung und ein besserer Wärmeübergang am tertiären Spaltgaskühler 163 gegenüber einer Einsatz- bzw. Dampfanwärmung. Das vorgeschaltete Economizerbündel 129 und eine auf 200 bis 220 °C limitierte Spaltgaskühlung minimieren das Risiko von Verlegungen spaltgasseitig am tertiären Spaltgaskühler 163 durch (zu) geringe Rohrwandtemperaturen.

**[0140]** Für reinen Ethaneinsatz (der eine geringe Verlegungstendenz des Spaltgases bewirkt) kann ein nachgeschalteter Economizer sinnvoll eingesetzt werden, wobei eine Sequenz Anlagengrenze - tertiärer Spaltgaskühler 163 - Luftvorwärmer 17 - Economizer - Dampftrommel 14 vorgesehen sein kann. Es ergibt sich eine höhere Temperaturdifferenz am tertiären Spaltgaskühler 163 (weniger Flächenbedarf) auch bei Abkühlung des Spaltgases auf bis zu ca. 180°C (vgl. Figur 2).

**[0141]** In Figur 8 ist eine Anlage 800 gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung veranschaulicht, in der ein Spaltöfen allerdings elektrisch beheizt wird und daher mit 80 bezeichnet ist. Auch hier wird dem Spaltöfen 80 ein Spaltgas entnommen, wobei das Spaltgas 8 oder ein Teil hiervon einer Spaltgaskühlung unterworfen wird. Diese umfasst hier ebenfalls einen primären Spaltgaskühler 161 (insbesondere als Linearkühler), einen sekundären Spaltgaskühler 162 und einen tertiären Spaltgaskühler 163. Wie zuvor ist der sekundäre Spaltgaskühler 162 stromab des primären Spaltgaskühlers 161 und der tertiäre Spaltgaskühler 163 stromab des sekundären Spaltgaskühlers 162 angeordnet, und ein Einsatzgemisch 5 in den Spaltöfen 80 wird mittels des sekundären Spaltgaskühlers 162 erwärmt.

**[0142]** Zur Bereitstellung des Einsatzgemischs 5 werden auch hier ein in einem dampfbetriebenen Einsatzvorwärmer 121 erwärmter Einsatzstrom 1 und ein in einem ebenfalls dampfbetriebenen Dampfvorwärmer 13, genauer einem Prozessdampfvorwärmer oder korrekter Prozessdampfüberhitzer erwärmer Verdunstungsdampf 2 vereinigt, wobei anschließend eine Erwärmung des Einsatzgemischs 5 in einem Wärmetauscher erfolgt, der funktional dem zuvor erläuterten Hochtemperaturbündel 123 entspricht und daher hier so bezeichnet ist, aber mit Dampf betrieben wird. Eine Dampftrom-

mel ist mit 14 bezeichnet; sie versorgt auch den primären und tertiären Spaltgaskühler 161 bzw. 163 mit Dampf 9.

**[0143]** Ein großer Teil der Dampferzeugung kann dabei im primären und tertiären Spaltgaskühler 161, 163 erfolgen (hier ist insbesondere der primäre Spaltgaskühler 161 als Linearkühler bereitgestellt). Der Dampf wird zur Vorwärmung von Einsatz 1 und ggf. Prozessdampf 2 (bis ca. 300°C) genutzt. Zusammengenommen wird ein Großteil der benötigten Einsatzerhitzung über Satteldampfnutzung und den sekundären Spaltgaskühler 162 bereitgestellt. Es handelt sich um 70 bis 80% mit moderatem/akzeptablem Flächenbedarf. Das entspricht etwa 80 bis 90% dessen, was mit einem einzelnen, aufwändigen primären Spaltgaskühler 161, der entsprechend, d.h. als Feed-Effluent-Wärmeübertrager, verwendet würde, erreichbar ist (unter der Annahme, dass auch in diesem Fall sehr hohe Wandtemperaturen von mehr als 650 bis 700 °C prozessseitig unbedingt vermieden werden sollen (wegen Precracking und möglicher Verkokung). Im Prinzip kann hier ein Linearkühler mit "Impingement" oder Ähnliches verwendet werden, der im Gleich- oder Gegenstrom betrieben werden kann. Gegenüber einem sehr aufwändigen mehrstufigen primären Spaltgaskühler als Feed-Effluent-Wärmeübertrager entspricht dies noch 75 bis 80%. Die finale Feedanwärmung auf die Eintrittstemperatur in die Coils erfolgt insbesondere mit einem elektrisch beheizten Wärmetauscher 81 (650 bis 690 °C bei Gaseinsatz wie Ethan und Propan, 580 bis 620 °C bei Flüssigeinsatz wie Naphtha). Kondensierter Dampf wird in einem Kondensatsammler 82 gesammelt und in die Dampftrommel 14 zurückgeführt.

**[0144]** Nachfolgend sollen nochmals Aspekte der vorliegenden Erfindung, insbesondere hinsichtlich Auswirkungen, Anforderungen und Design der verwendeten Apparate und Bündel erläutert werden, wobei, teilweise das zuvor Gesagte wiederholt wird. Die Erläuterungen können jeweils einige oder alle Ausgestaltungen betreffen.

**[0145]** Vorgeschlagen wird eine dreistufiges Quenchkühler- bzw. Spaltgaskühlersystem mit Primär-, Sekundär und Tertiärkühler, wobei der Sekundärkühler zur Überhitzung von Einsatz und Dampf, d.h. als Feed-Effluent-Wärmeübertragung dient. Die zuvor mehrfach erläuterte Sandwichanordnung des zwischen vor- und nachgelagertem Primär- und Tertiärkühler ermöglicht/umfasst unter anderem folgende Ausgestaltungen bzw. Aspekte bzw. führt zu den nachfolgend angegebenen Vorteilen.

**[0146]** Ein konventioneller vorgeschalteter Primärkühler (insbesondere als Linear- oder Geradrohr-Dampferzeuger ausgeführt) vermeidet Selektivitätsverlust sowie vorzeitige Verkokung und vorzeitiges Fouling. Ein konventioneller nachgeschalteter Tertiärkühler (Geradrohrtauscher zur Dampferzeugung oder als KSW-Vorwärmer) ermöglicht eine bewährte, effiziente Kühlung am kalten Spaltgasende bei flexiblem Temperaturfenster. Es kommt zu einer erforderlichen, direkten Reduzierung der Dampfproduktion für gefeuerte Öfen. Eine bessere Aus-

nutzung des hohen Spaltgastemperaturniveaus gegenüber der herkömmlichen Dampferzeugung ist möglich.

**[0147]** Ein prozesskritischer Gesamtdruckverlust (z.B. 150 bis 200mbar) der Spaltgaskühlung wird durch entsprechendes Design nicht/kaum erhöht. Insbesondere kann ein Temperaturfenster der Sekundärkühlung durch entsprechende vor- und nachgelagerte Primär- und Tertiärkühlung angepasst werden. Insbesondere ist eine an Rahmenbedingungen/Prozessanforderungen Wärmemenge anpassbar. Eine Minimierung der Verkokung (spaltgasseitig) wird durch Wahl des Temperaturfensters erreicht, ebenso eine Vermeidung des Preckrakings durch Wahl des verwendeten Temperaturfensters.

**[0148]** In Ausgestaltungen wird außerdem eine Flexibilität und Optimierung der baulichen Ausführung (Fläche, Material usw.) durch Wahl des Temperaturfensters ermöglicht. Ein Verhalten über die Laufzeit kann vergleichbar zu Bündeln in der Konvektionszone sein, insbesondere wegen eines positiven Verkokungsverhaltens. In Ausgestaltungen der Erfindung ist keine Regelung erforderlich. Falls eine Regelung erforderlich werden sollte (z.B. bei unterschiedlichen Spaltbetrieben und/oder Einsätzen), kann dies über einen (typischen, bekannten Luftbypass, ggf. auch über eine dampfseitige Regelung (Kondensat-Abdeckung, weniger Platzbedarf) erfolgen.

**[0149]** Der sekundäre Spaltgaskühler kann insbesondere als effizienter Gegenstromtauscher ausgebildet sein, beispielsweise auch als konventioneller Geradrohr-Wärmeübertrager, wobei das Spaltgas im Rohr geführt wird. Beispielhafte Dimensionen und weitere Aspekte und Vorteile, insbesondere im Vergleich zu einem entsprechenden Feed-Effluent-Wärmeübertrager als primäre Spaltgaskühler.

**[0150]** Aspekte der Strahlungszone und von deren Ausgestaltung wurden ebenfalls in Bezug auf entsprechende Ausführungsformen der Erfindung erläutert. Eine entsprechend optimierte Paarung "Wirkungsgrad/Luftvorwärmtemperatur" kann durch den Fachmann ausgewählt werden, unter den Nebenbedingungen aus der Wärmebilanz um die Konvektionszone/Spaltgaskühlung.

**[0151]** In der klassischen Konvektionszone eines unterfeuerten Ofens wird die im Rauchgas verbliebene Wärme bestmöglich genutzt, der thermische Gesamtwirkungsgrad ergibt sich dabei vornehmlich aus der Rauchgasaustrittstemperatur. Ohne Luftvorwärmung ergibt sich typischerweise ein Wärmeüberschuss (nach Bedienen des Prozesswärmebedarfs und Hochdruckdampfüberhitzung), der mittels Speisewasservorwärmung (in einem Economizerbündel) der Dampferzeugung zugeführt wird. Die vorgeschlagenen Verschaltungen unter Einbeziehung der Spaltgaskühlerwärme mittels in der erläuterten Weise und eines Luftvorwärmrbündels ermöglicht die Bilanzierung auch bei erheblich reduziertem Wärmeangebot (durch hohe Luftvorwärmtemperaturen). Ausgestaltungen der zweifachen Luftvorwärmung wurden bereits zuvor erläutert, wobei eine

entsprechende gestufte Luftvorwärmung mit Dampf bis maximal 320 °C und anschließend mittels eines Bündels in der Konvektionszone erfolgen kann.

**[0152]** Die Luftvorwärmung mittels Rohrbündel in der Konvektionszone ermöglicht die Realisierung hoher Luftvorwärmtemperaturen von über 300 bis etwa 700 °C und eine reduzierte Wärmeabfuhr in der Konvektionszone von nur ca. 30 bis 50% der im sekundären Spaltgaskühler übertragenen Wärme. Als weitere Vorteile sind ein mäßiger Druckverlust luftseitig (um 50 mbar) und eine kompakte Bauweise durch ein entsprechend hohes Rauchgastemperaturfenster zu nennen.

**[0153]** Der Einsatz von hochtemperaturbeständigem Material wird minimiert wegen des nur minimalen Innendrucks (Luft bei deutlich weniger als 1 bar Überdruck), so dass sich nur eine geringe erforderliche Wandstärke ergibt. Das Medium Luft ist unkritisch, eine Leckage ins Rauchgas ist kein Sicherheitsrisiko. Das Verhalten über die Laufzeit mit etwas steigender Vorwärmtemperatur ist positiv. So kann teilweise der Verlust an Strahlungszonenwirkungsgrad (durch Verkokung der Spaltrohre/reduzierte Wärmeübertragung) kompensiert werden. Eine Regelung ist nicht erforderlich.

**[0154]** Die erste Stufe der Luftvorwärmung ermöglicht eine indirekte Nutzung von Quench-Wärme und damit die erforderliche Reduzierung der Dampfproduktion. Eine Sattdampf-Nutzung aus der Dampftrommel ist möglich, wobei sich diverse Ausführungen/Aufstellungen ergeben. Eine Ausführung oberhalb der Dampftrommel und gravitativer Kondensat-Rückführung ist möglich. Alternativ oder zusätzlich ist auch ein Betrieb im Umlauf eines Dampferzeugers möglich (Primär-/Tertiärkühler). Eine flexible Kondensatrückführung zur Trommel via Sammler und Booster-Pumpe kann vorgesehen sein, ebenso wie eine Kondensat-Unterkühlung und Fahrweise zu einer externen Kesselspeisewasseraufbereitung.

**[0155]** Eine Speisewassernutzung ist bei einem Gasofen aus dem tertiären Spaltgaskühler möglich, und besonders einfach und elegant. Aus einer Dampftrommel (Zwangsumlauf-Pumpe) auch bei einem Flüssigofen denkbar. Dies kann bei flexibler Wärmebereitstellung mit einer erforderlichen Luftvorwärmung auf 250 bis 310 °C erfolgen, sowie bei einem geringen Druckverlust luftseitig (typischerweise weniger als 30 mbar). Die 250°C sind eine sinnvolle untere Grenze aus Effizienzgründen, allerdings kann auch ein Bereich von 200 bis 310 °C verwendet werden. Darunter kann man auch Mitteldruckdampf sinnvoll einsetzen, wodurch typischerweise 160 bis 180 °C erreichbar werden. Eine kompakte Bauweise mit heißem Medium in berippten Rohren ist möglich, bei sehr gutem Wärmeübergang vom Dampf bzw. Kesselspeisewasser im Rohr. Durch die Berippung ergibt sich ein guter Wärmeübergang zur Luft. Insbesondere ist eine deutlich kompaktere Bauweise als bei typischen Frischluftgegen-Rauchgasanwärmer möglich. Eine Regelung nicht erforderlich, die Luftvorwärmung ist begrenzt durch Kondensations- bzw. Kesselspeisewassertemperatur. Gleichwohl ist eine Regelung möglich (Kondensat-Abde-

ckung oder Dampfdruck-Regelung; Luft-Umgang), z.B. für zusätzliche Flexibilität für unterschiedliche Betriebszustände/Einsätze.

**[0156]** Eine Außerbetriebnahme für Sonderbetriebe ist einfach möglich (z.B. Absperrarmatur mit Minimaldurchfluss, falls Warmhalten erforderlich). Diese kann ggf. kombiniert werden mit vorgeschaltetem Luft-Anwärmer gegen externe Medien (z.B. Quenchwasser, Mittel- oder Niederdruckdampf).

**[0157]** Ein Einsatzvorwärmer ist bei einem Gasofen ohne Luftvorwärmung typischerweise nur als oberstes (am kalten Rauchgasende) platziertes Bündel möglich. Der gasförmige Einsatz erwärmt sich deutlich schneller als das Rauchgas sich abkühlt ("pinch", Einklemmen durch Temperaturangleichung). Bei Luftvorwärmung steigt der Strahlungszonenwirkungsgrad, die Unterfeuerung und Rauchgasmenge sinkt. Die Temperaturprofile von Einsatz und Rauchgas gleichen sich an bzw. kehren sich schließlich um (etwa bei z.B. 55 % Strahlungszonenwirkungsgrad). Zusätzlich kann der Ofen bei derart verringelter Unterfeuerung nur mit Restgas(schwefelfrei; Methan und Wasserstoff, alternativ reine Wasserstofffraktion) betrieben werden, also insbesondere ohne schwefelhaltiges Import-Heizgas. Der typische Schwefelsäure-Taupunkt als Limitierung am obersten Bündel entfällt. Damit ermöglicht ein Einsatzvorwärmer als oberstes Bündel eine niedrige Rauchgas-Austrittstemperatur (deutlich weniger als 130 °C), damit hoher thermischer Ofenwirkungsgrad (bis über 95%).

**[0158]** Es ist eine sehr flexible Einsatzvorwärmung in einem Bündel: z.B. von 70 °C auf 150 bis 300°C möglich. Damit existiert eine Stellgröße für sekundären Spaltgas-Kühler bezüglich dessen Wärmeleistung und Flächenbedarf.

**[0159]** Eine Kombination mit (bekannten) Konzepten in Form einer Heizgasvorwärmung ist ebenfalls möglich. Diese stellt, vergleichbar zur Luftvorwärmung, eine Möglichkeit dar, Wärme in die Strahlungszone einzubringen und damit den Heizgasverbrauch direkt und indirekt (über erhöhten Wirkungsgrad) zu vermindern. Aus dieser Äquivalenz folgt, dass eine Luftvorwärmung teilweise durch Heizgasvorwärmung ersetztbar ist, und zwar bis etwa 30% bei reiner Wasserstofffeuerung, bei steigendem Methananteil weniger. Grundsätzlicher Vorteil ist die Wärmezufuhr auf niedrigerem Temperaturniveau, also effizienter. Der Gesamt-Prozessvorteil hängt davon ab, wo/womit die HeizgasVorwärmung realisiert wird. Nachteil ist der ggf. erhebliche (bauliche, prozesstechnische) Aufwand.

**[0160]** Zur Abwägung Aufwand/Nutzen werden drei Fälle betrachtet:

a. Heizgasvorwärmung in Analogie zur zweistufigen Luftvorwärmung.

Hierbei steht der Aufwand in keinem günstigen Verhältnis zum Nutzen von etwas verringerten Heizflächen.

b. Heizgasvorwärmung analog zur ersten Luft-

vorwärmstufe.

Hierbei kann eine höhere Quenchwärmemenutzung bzw. effizientere Rauchgasnutzung erfolgen, weniger Wärme im Luftvorwärmerbündel in der Konvektionszone. Es kann eine Entlastung der Konvektionszone im kritischen Rauchgasfenster (600 bis 350°C, "pinch"-Bereich) erfolgen. Im Beispiel Gasofen lässt sich die Einsparung an Heizgas/Unterfeuerung nochmals etwas steigern (um bis ca. 3%) und weiterhin spezifikationsgerecht Hochdruckdampf abgeben. Die Ausgestaltungen der Erfindung umfassen eine Installation eines Heizgasvorwärmers parallel zur ersten Stufe der Luftvorwärmung mit einem zusätzlichen Apparat oder eines Heizgasvorwärmers in der Konvektionszone und zwar (i) unterhalb eines Economizerbündels als ein zusätzliches Bündel, oder (ii) anstelle des Economizerbündels mit minimalem Aufwands, jedoch unter Verlust der Flexibilität der Feedvorwärmung und damit teilweise an Gestaltungsspielraum am Sekundärkühler im Spaltgas.

c. Heizgasvorwärmung außerhalb des Ofens.

**[0161]** Diese kann durch eine externe Wärmequelle (z.B. Anlagendampf) erfolgen. Grundsätzlich günstig und möglich, allerdings wäre der Beitrag eher gering (niedrigere Vorwärmtemperaturen) oder der Aufwand/ die Komplexität erhöht

**[0162]** Je nach Rahmenbedingungen und Einsparziel kann daher insbesondere eine Heizgasvorwärmung z.B. nach b. sinnvoll eingesetzt werden.

**[0163]** Bei der gewünschten, nötigen Erhöhung der Feuerraumtemperatur lässt sich technisch eine Erhöhung der Stickoxidemissionen nicht sinnvoll vermeiden.

Daher wird eine in Ausgestaltungen der Erfindung eine Entstickungseinrichtung im üblichen RauchgasTemperaturfenster (etwa 300 bis 350 oder 400 °C) verwendet.

**[0164]** Typische Sonderbetriebe eines Ofens (Entkoken, Warmhalten, Umschalten/Notfall) sollten möglichst ohne Zusatzaufwand durchführbar sein. Typisch und ggf. kritisch sind verringerte Strahlungszonenwirkungsgrade, ein erhöhter Luftüberschuss und erhöhtes Temperaturniveau der Konvektionszonenbündel.

**[0165]** Die vorgeschlagenen Konzepte zeigen vornehmlich günstiges Verhalten hierbei. Der als Feed-Effluent-Wärmeübertrager verwendete Sekundärkühler geht mit vergleichsweise wenig Wärmeeintrag ggü. einem Hochtemperaturbündel in der Konvektionszone einher. Eine vorgeschlagene zweite Stufe der Luftvorwärmung nimmt erhebliche Wärmemengen auf. Eine Zwangsluft-führung ermöglicht eine einfache Reduzierung der Luftmenge (z.B. Drehzahlregelung Frischluftgebläse). Es verringern sich die Abweichungen typischer und ggf. kritische Betriebsparameter. Der Strahlungszonenwirkungsgrad sinkt in geringerem Umfang ab, und als zusätzliche, einfache Eingriffsmöglichkeit ist eine Außerbetriebnahme der ersten Luftvorwärmstufe und des Sattdampf-Vorwärmers möglich.

**[0166]** Das Ziel einer Verminderung des Heizgasbedarfs geht am gefeuerten Ofen zwangsläufig einher mit einer (überproportionalen) Verminderung der Dampfproduktion. Damit ergibt sich für eine typischen Cracker die Notwendigkeit, Alternativen zu den bisherigen Antrieben mit Dampfturbinen bereitzustellen, ggf. auch Alternativen zur Dampfbeheizung. Im Sinne der Dekarbonisierung sind z.B. grüner Strom und elektrische Antriebe und Wärmepumpen zielführend. In den Beispielen wird ein typisches Dampfniveau (mit über 500 °C, und mehr als 110 bar) zugrunde gelegt, was weiterhin eine möglichst effiziente Nutzung in Turbinen gewährleistet. Ein niedriges Druck- und Temperaturniveau des Dampfes kann in einer Gesamtbetrachtung sinnvoll sein, da damit etwas Spielraum in der Konvektionszone für weiteres Einsparpotenzial an Heizgas geschaffen wird.

**[0167]** Übergeordnet wird das Ziel erreicht, eine Einsparung an Heizgas von 30 bis 40% an gefeuerten Spaltöfen (zur Olefinerzeugung) zu erzielen. Dies wird durch die Ermöglichung sehr hoher Luftvorwärmtemperaturen (etwa 400 bis 700 °C), Wärmeintegration direkt am Ofen selbst und Integration von Spaltgaswärme für (indirekte) Luftvorwärmung und Prozess-Anwärmung erzielt.

**[0168]** Thermodynamisch wird eine Optimierung der Abwärme-Integration erreicht, die eine effizientere Nutzung der vorhandenen Temperaturniveaus von Spaltgas, eine effizientere Nutzung der vorhandenen Temperaturniveaus von Rauchgas, eine effizientere Nutzung der Unterfeuerung für die Prozessaufgabe (Spaltreaktion) und Eine Verminderung von Dampf als Abwärme-Produkt erzielt bzw. umfasst.

**[0169]** Prozessseitig werden keine/wenig Einschränkungen erreicht oder Zusatzrisiken erwartet, und zwar weder bezüglich Selektivität der Spaltung, bezüglich der Einsatzflexibilität, noch bezüglich Verkokung und Laufzeitverhalten des Ofens.

**[0170]** Apparatechnisch wird ein Einsatz von bekannten und bewährten Apparatetypen/Bündeln ermöglicht sowie eine kompakte Bauart und flexible Aufstellung der Apparate/Bündel. Damit ist für den gesamten Ofen ein vergleichsweise klassischer, kompakter Aufbau möglich.

**[0171]** Betriebsseitig werden keine/wenig Einschränkungen bewirkt. Start-Up- und Standby-Betriebsmodi sind ähnlich zum klassischen Spaltöfen realisierbar und es ergibt sich ein vergleichbar minimaler Regelungsaufwand wie beim klassischen Spaltöfen.

**[0172]** Insgesamt bleibt Flexibilität erhalten (z.B. hinsichtlich Spaltung, Einsatz, Last, Heizgas), und es ergibt sich ein vergleichbares, ggf. sogar günstigeres Laufzeitverhalten. Für einen Spaltöfen mit Gaseinsatz wird eine Einsparung an Heizgas von 10 bis 20 % bereits allein durch Anwendung einer einfachen Luftvorwärmung (etwa 150 bis 300 °C) aus Spaltgas-Abwärme erreicht.

**[0173]** Kesselspeisewasser aus dem tertiären Spaltgaskühler kann als Wärmeträgermedium zum Luftvorwärmer geführt werden. Nur ein zusätzlicher, kompakter Luftvorwärmer und der (immer erforderlichen) Luftvor-

wärzung zu den Brennern ist erforderlich. Diese kann gegen heißes Kesselspeisewasser aus Niedertemperatur-Spaltgaskühlung (klassischer tertiärer Spaltgaskühler) erzielt werden. Auch hier ergeben sich eine kompakte Bauweise und flexible Aufstellung sowie kein bzw. kaum weiterer Zusatzaufwand am Ofen.

**[0174]** Für die Spaltgas-Wärmeintegration einer elektrisch beheizten Spaltung, beispielsweise wie in Figur 8 dargestellt, kann durch den Sandwich-Spaltgaskühler ein Anteil von 75 bis 85% der gesamten, sinnvollen Wärmerückgewinnung für Prozesszwecke genutzt werden. Dies erfolgt, wie ebenfalls angesprochen, ohne prozessseitige Einschränkungen oder Zusatzrisiken (Selektivität, Verkokung, Flexibilität). Wiederum sind ein minimierter Aufwand zur Spaltgas-Wärmeintegration mit bekannten und bewährten Apparatetypen und eine kompakte Bauweise und flexible Aufstellung in entsprechenden Ausgestaltungen möglich.

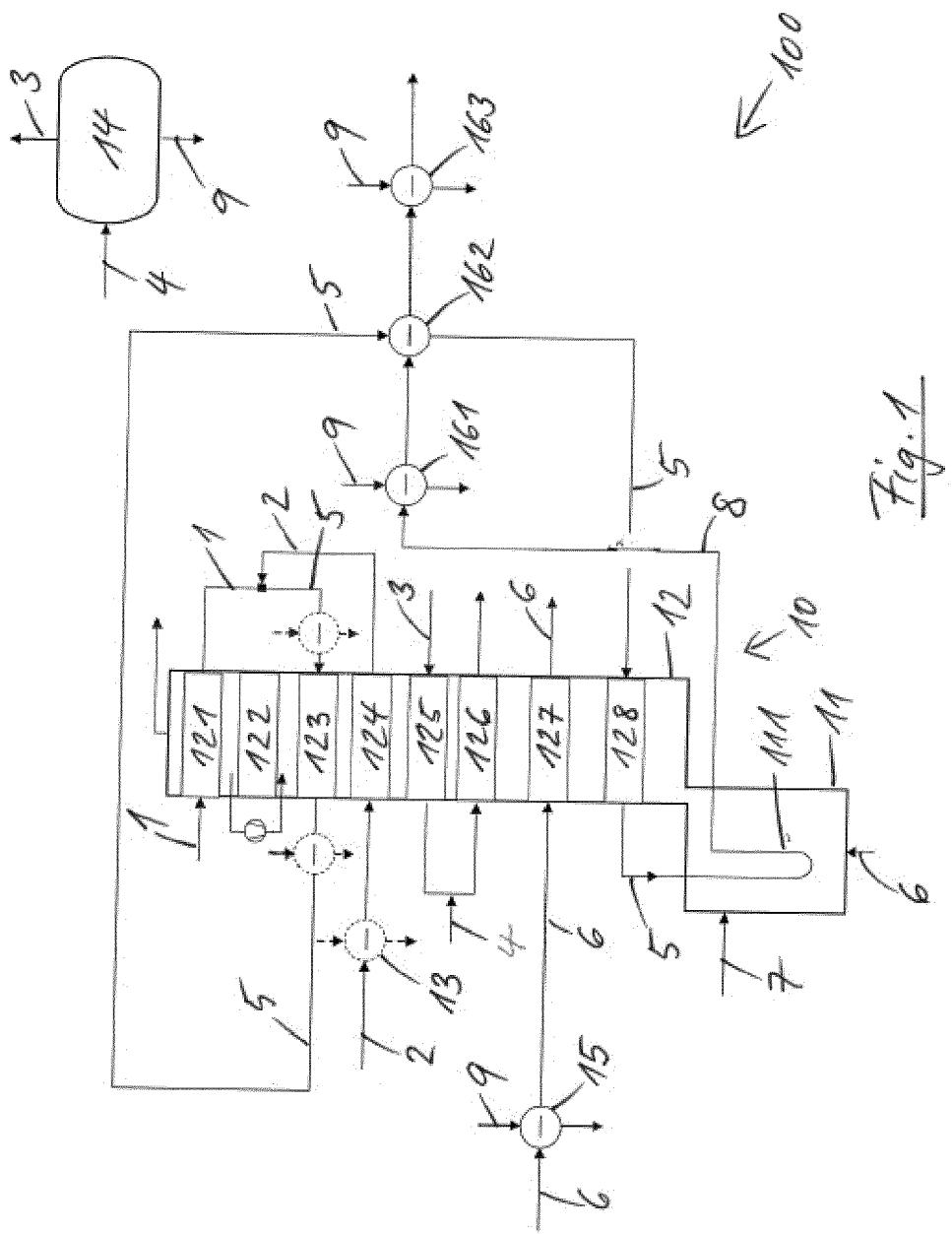
**[0175]** Eine vollelektrische Feedanwärzung entspricht per Definition hier 100%. Eine teilelektrische Feedanwärzung mit indirekter Nutzung der Spaltgaswärme für die Feedanwärzung über Sattdampf entspricht dann 60%. Wenn zusätzlich noch der hier beschriebene Wärmetauscher eingesetzt angewendet wird, kann eine Kombination aus indirekter und direkter Wärmeintegration den elektrischen Strombedarf für die Feedanwärzung auf 30% einer vollelektrischen Anwärzung reduzieren.

30

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Steamcracken, wobei ein Einsatzgemisch (5), das einen oder mehrere Kohlenwasserstoffe und Dampf enthält, einem Spaltöfen (10, 80) zugeführt wird, wobei dem Spaltöfen (10, 80) ein Spaltgas (8) entnommen wird, wobei das Spaltgas (8) oder ein Teil hiervon einer Spaltgaskühlung (16) unterworfen wird, wobei die Spaltgaskühlung (16) unter Verwendung eines primären Spaltgaskühlers (161), eines sekundären Spaltgaskühlers (162) und eines tertiären Spaltgaskühlers (163) durchgeführt wird, und wobei der sekundäre Spaltgasküller (162) stromab des primären Spaltgaskühlers (161) und der tertiäre Spaltgasküller (163) stromab des sekundären Spaltgaskühlers (162) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einsatzgemisch (5) oder ein Teil hiervon mittels des sekundären Spaltgaskühlers (162) erwärmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Kohlenwasserstoffe in dem Einsatzgemisch (5) zu einem Anteil von mehr als 90% einen Siedebereich von 35 bis 400 °C aufweisen, wobei der sekundäre Spaltgasküller (162) mit einer Spaltgaseintrittstemperatur von 550 bis 650 °C, einer Spaltgasaustrittstemperatur von 420 bis 520 °C, einer Einsatzgemescheintrittstemperatur von 270 bis 330 °C und einer

- Einsatzgemischaustrittstemperatur von 400 bis 535 °C betrieben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Kohlenwasserstoffe in dem Einsatzgemisch (5) zu einem Anteil von mehr als 90% einen Siedebereich von weniger als 35 °C aufweisen, wobei der sekundäre Spaltgaskühler (162) mit einer Spaltgaseintrittstemperatur von 580 bis 650 °C, einer Spaltgasaustrittstemperatur von 300 bis 450 °C, einer Einsatzgemischausintrittstemperatur von 180 bis 240 °C und einer Einsatzgemischaustrittstemperatur von 400 bis 535 °C betrieben wird. 5
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem als der sekundäre Spaltgaskühler (162) ein Geradrohrwärmeübertrager mit rohrseitiger Spaltgasführung verwendet wird. 15
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem Rohre des sekundären Spaltgaskühlers (162) einen Außen-durchmesser von 40 bis 50 mm und eine Rohrlänge von bis zu 12 m aufweisen und/oder der sekundäre Spaltgaskühler (162) mit einem Druckverlust von 10 bis 60 mbar und/oder bei bis zu 80% Schallgeschwindigkeit betrieben wird. 20
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Spaltöfen (10) unter Verwendung eines Brenngases betrieben wird, das mit Verbrennungsluft (6) verbrannt wird, wobei die Verbrennungsluft (6) oder ein Teil hiervon einer Verbrennungsluftvorwärmung unterworfen wird. 25
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Verbrennungsluftvorwärmung unter Verwendung eines außerhalb einer Konvektionszone (12) des Spaltöfens (10) angeordneten Luftvorwärmers (15) und danach unter Verwendung eines Luftvorwärmers (127) in der Konvektionszone (12) erwärmt wird. 30
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem die Verbrennungsluftvorwärmung unter Verwendung des Luftvorwärmers (127) in der Konvektionszone (12) auf eine Temperatur von mehr als 400 °C durchgeführt wird. 35
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem der außerhalb der Konvektionszone (12) angeordnete Luftvorwärmer (15) unter Verwendung von Kesselspeisewasser betrieben wird, das unter Verwendung des tertiären Spaltgaskühlers (162) erwärmt wird. 40
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, bei dem das Brenngas oder ein Teil hiervon unter Verwendung von Kesselspeisewasser vorgewärmt wird, das unter Verwendung des tertiären Spaltgas- 45
- kühlers (162) erwärmt wird. 50
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, bei dem das Brenngas einen Wasserstoffgehalt von mehr als 90% aufweist. 5
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, bei dem das Brenngas zu einem Anteil von 70 bis 80% mittels Bodenbrennern und in einem verbleibenden Anteil mittels Seitenwandbrennern verfeuert wird. 10
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der Spaltöfen (80) unter Verwendung von elektrischem Strom erwärmt wird. 15
14. Anlage (100-800) zum Steamcracken, die dafür eingerichtet ist, ein Einsatzgemisch (5), das einen oder mehrere Kohlenwasserstoffe und Dampf enthält, einem Spaltöfen (10, 80) zuzuführen, dem Spaltöfen (10, 80) ein Spaltgas (8) zu entnehmen, das Spaltgas (8) oder einen Teil hiervon einer Spaltgaskühlung (16) zu unterwerfen, und die Spaltgaskühlung (16) unter Verwendung eines primären Spaltgaskühlers (161), eines sekundären Spaltgaskühlers (162) und eines tertiären Spaltgaskühlers (163) durchzuführen, wobei der sekundäre Spaltgaskühler (162) stromab des primären Spaltgaskühlers (161) und der tertiäre Spaltgaskühler (163) stromab des sekundären Spaltgaskühlers (162) angeordnet ist, **da-durch gekennzeichnet, dass** die Anlage (100-800) dafür eingerichtet ist, das Einsatzgemisch (5) oder einen Teil hiervon mittels des sekundären Spaltgaskühlers (162) zu erwärmen. 20
15. Anlage (100-800) nach Anspruch 14, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet ist. 25
16. Anlage (100-800) nach Anspruch 14, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet ist. 30
17. Anlage (100-800) nach Anspruch 14, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet ist. 35
18. Anlage (100-800) nach Anspruch 14, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet ist. 40
19. Anlage (100-800) nach Anspruch 14, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet ist. 45
20. Anlage (100-800) nach Anspruch 14, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet ist. 50
21. Anlage (100-800) nach Anspruch 14, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet ist. 55



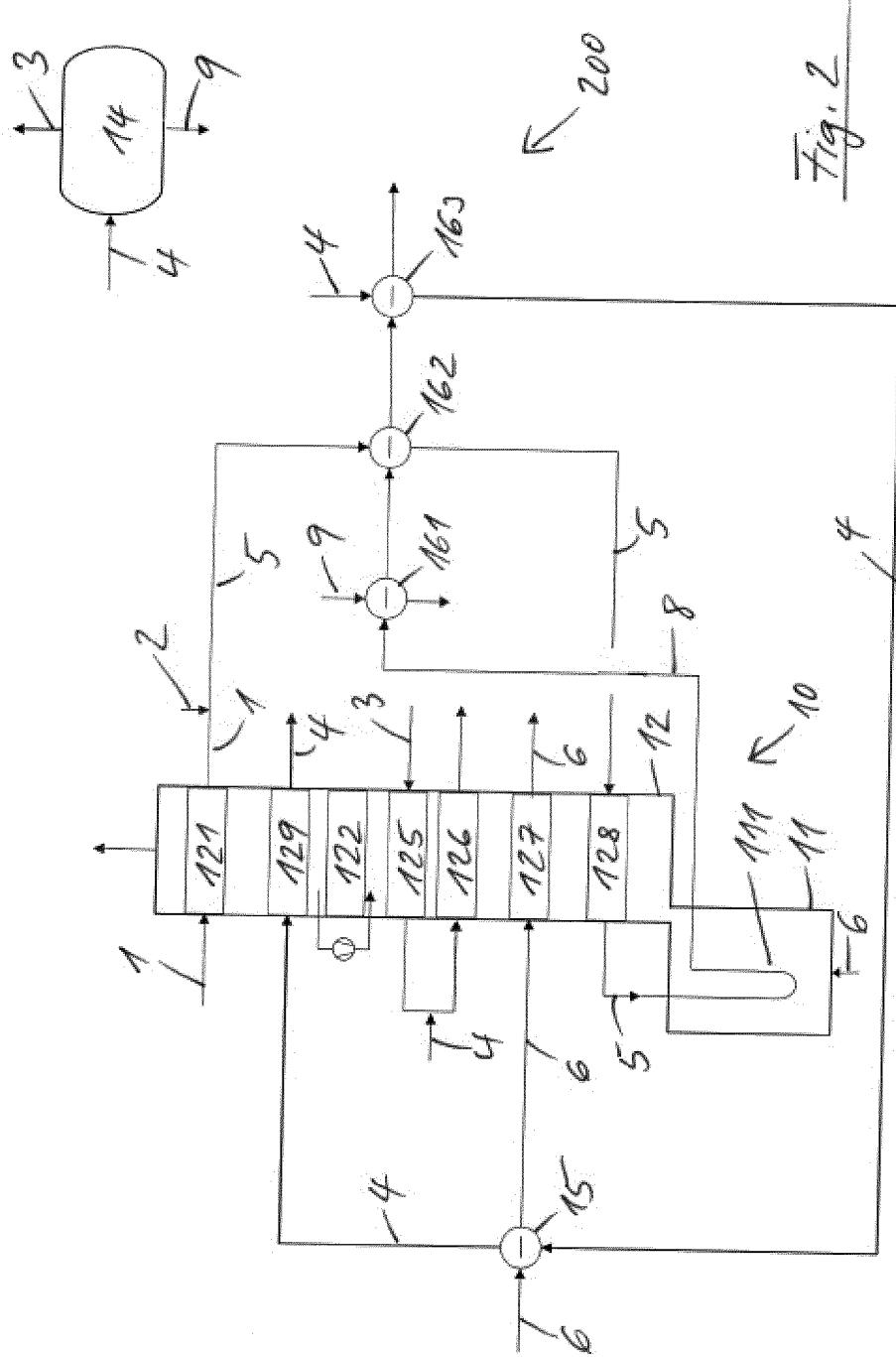


Fig. 2

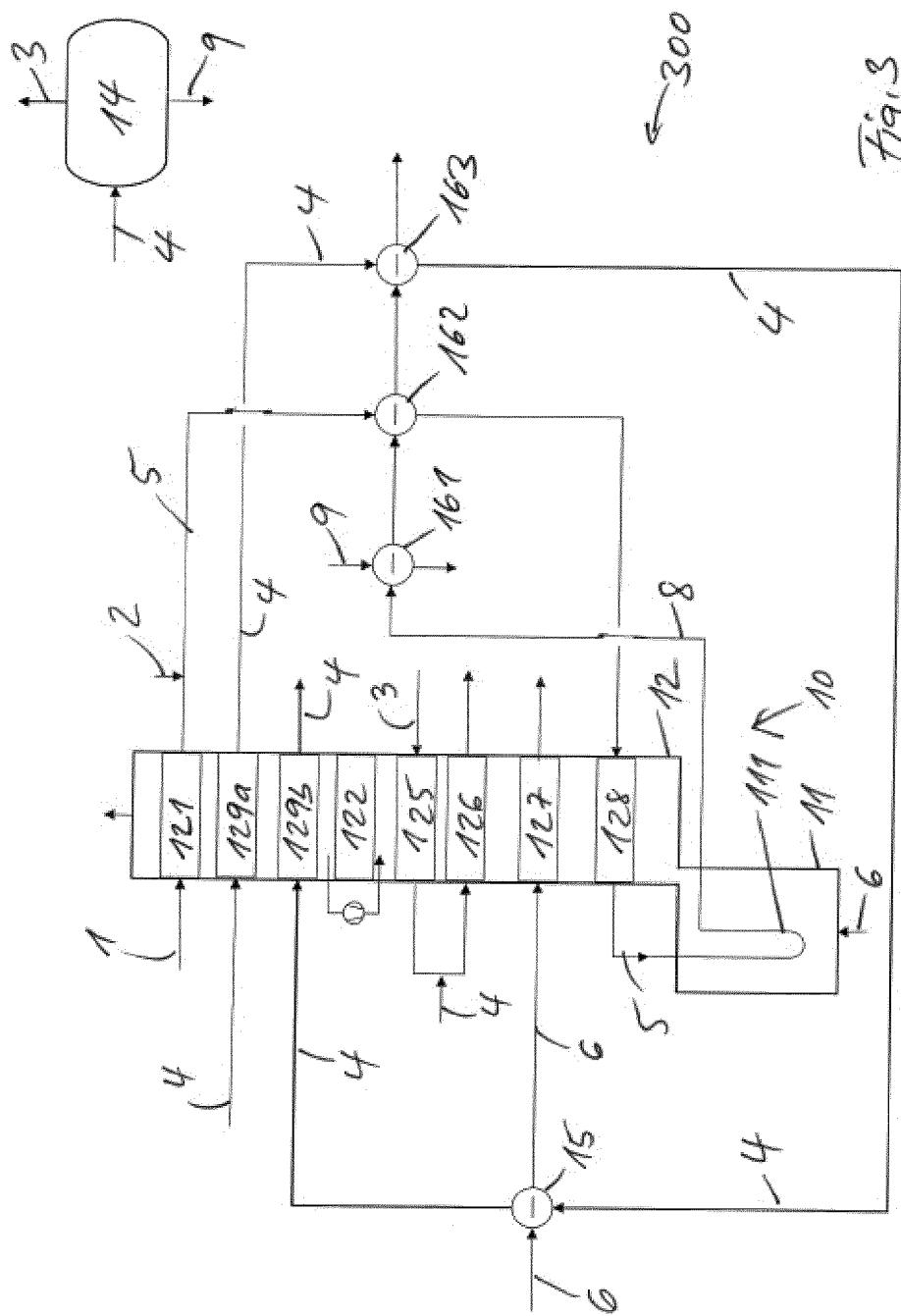


Fig. 3

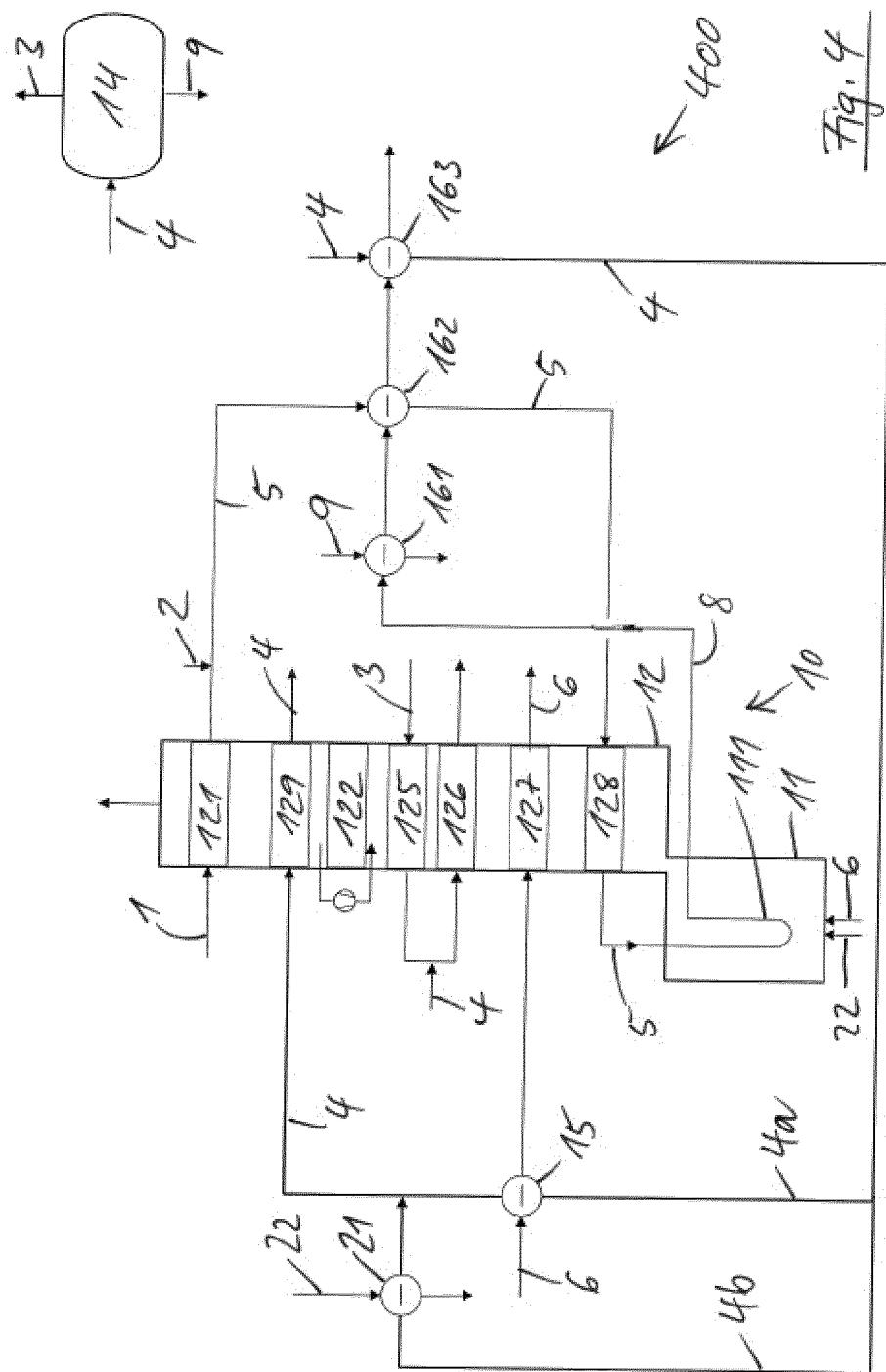
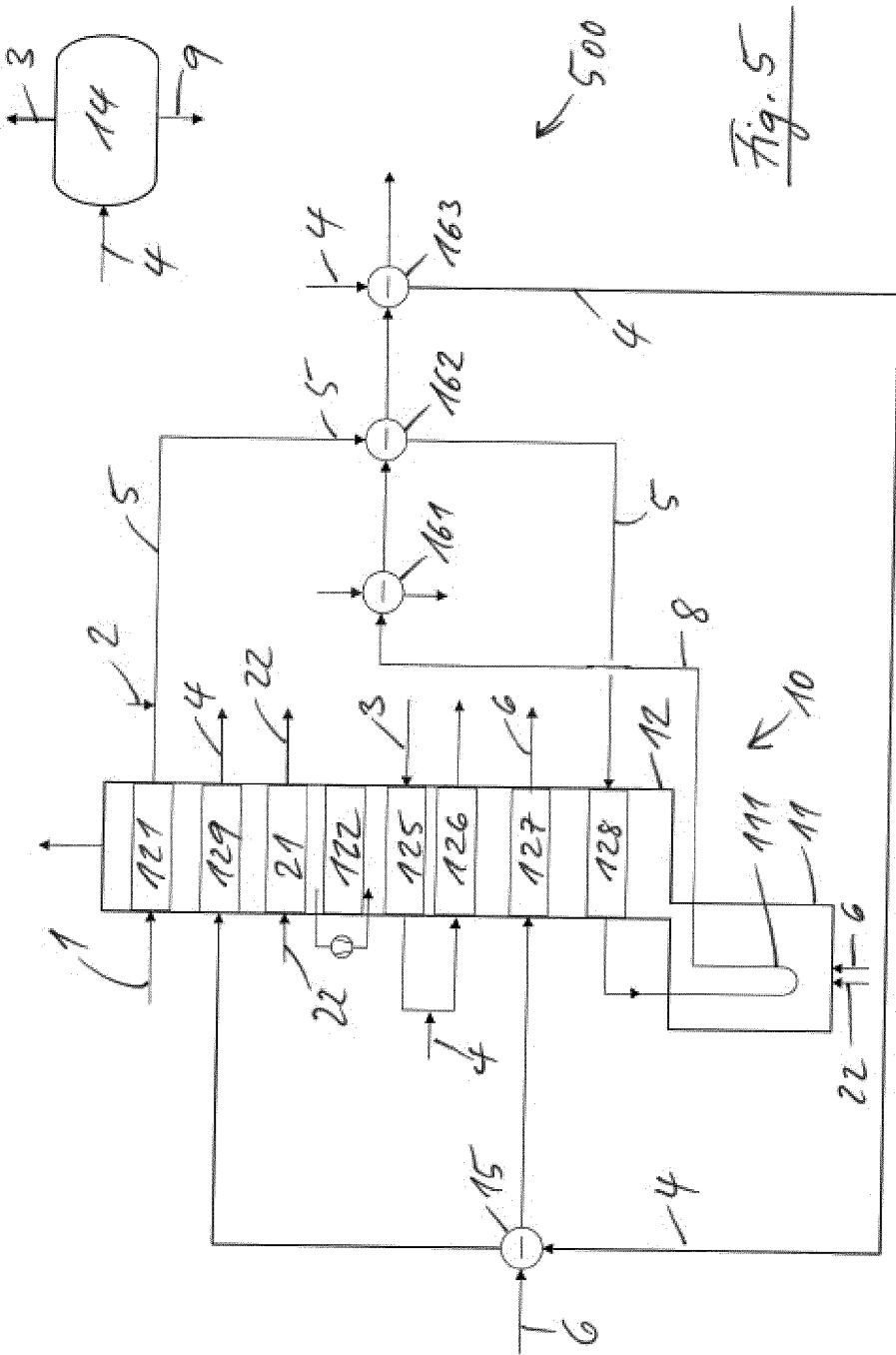
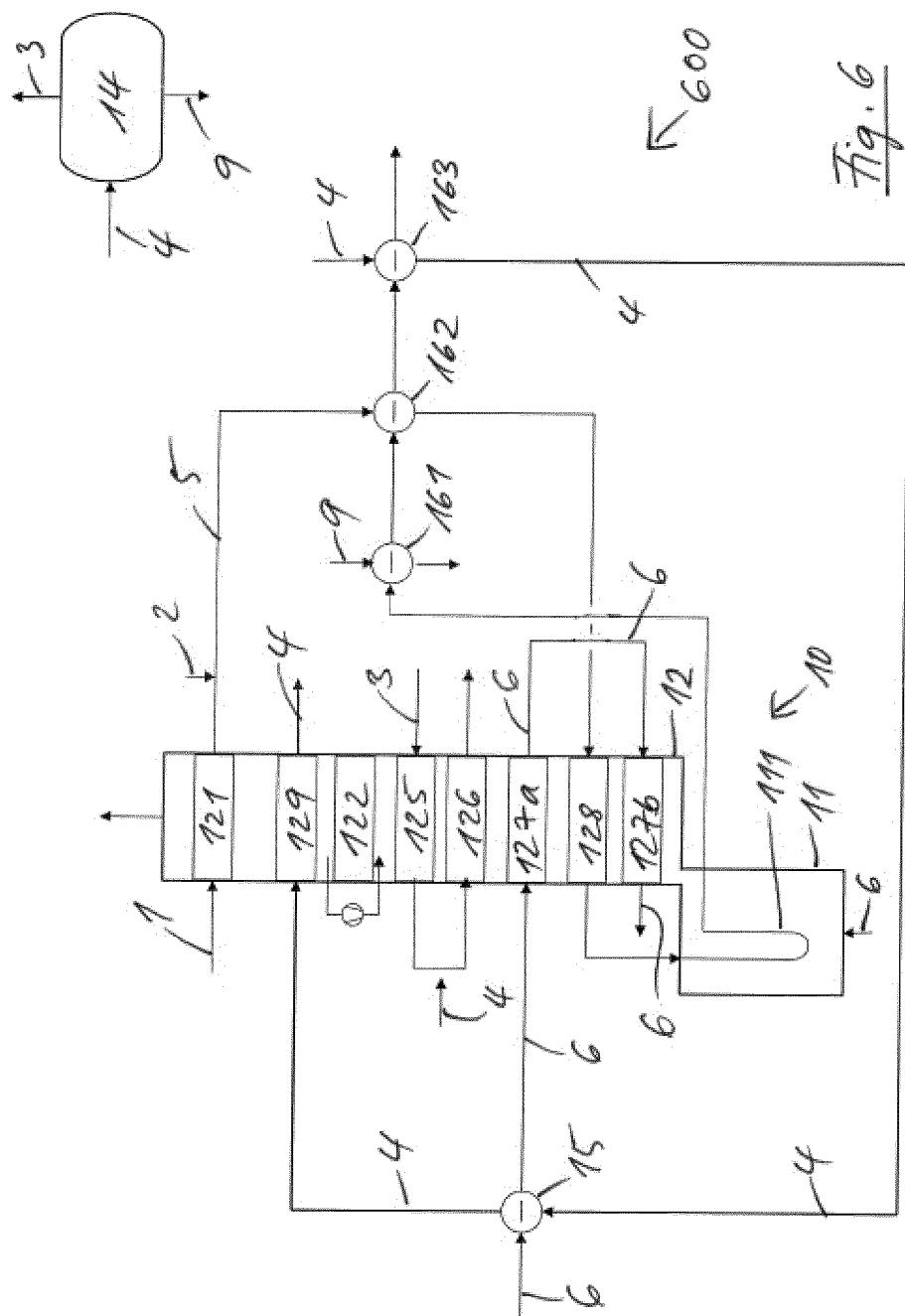


Fig. 4





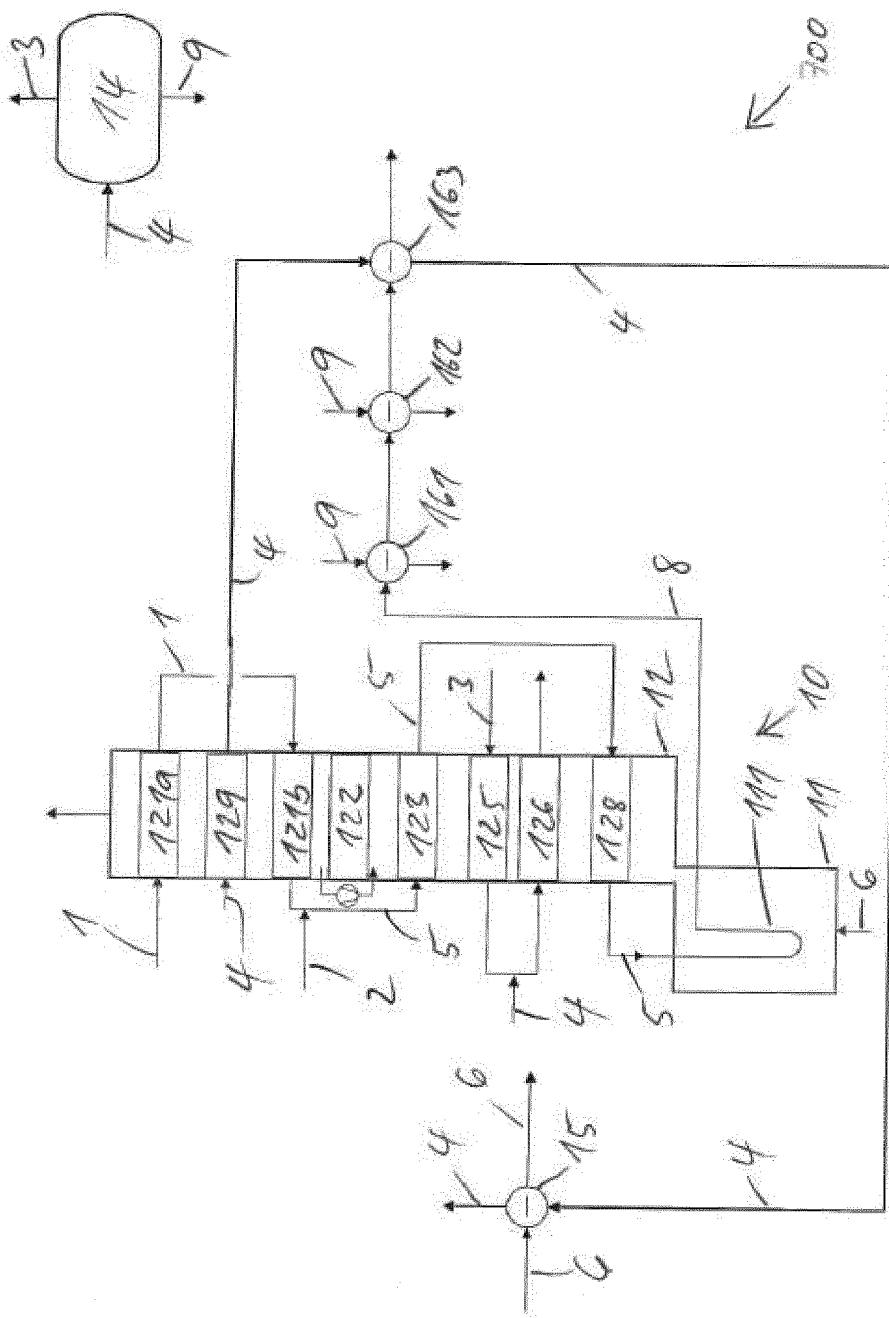
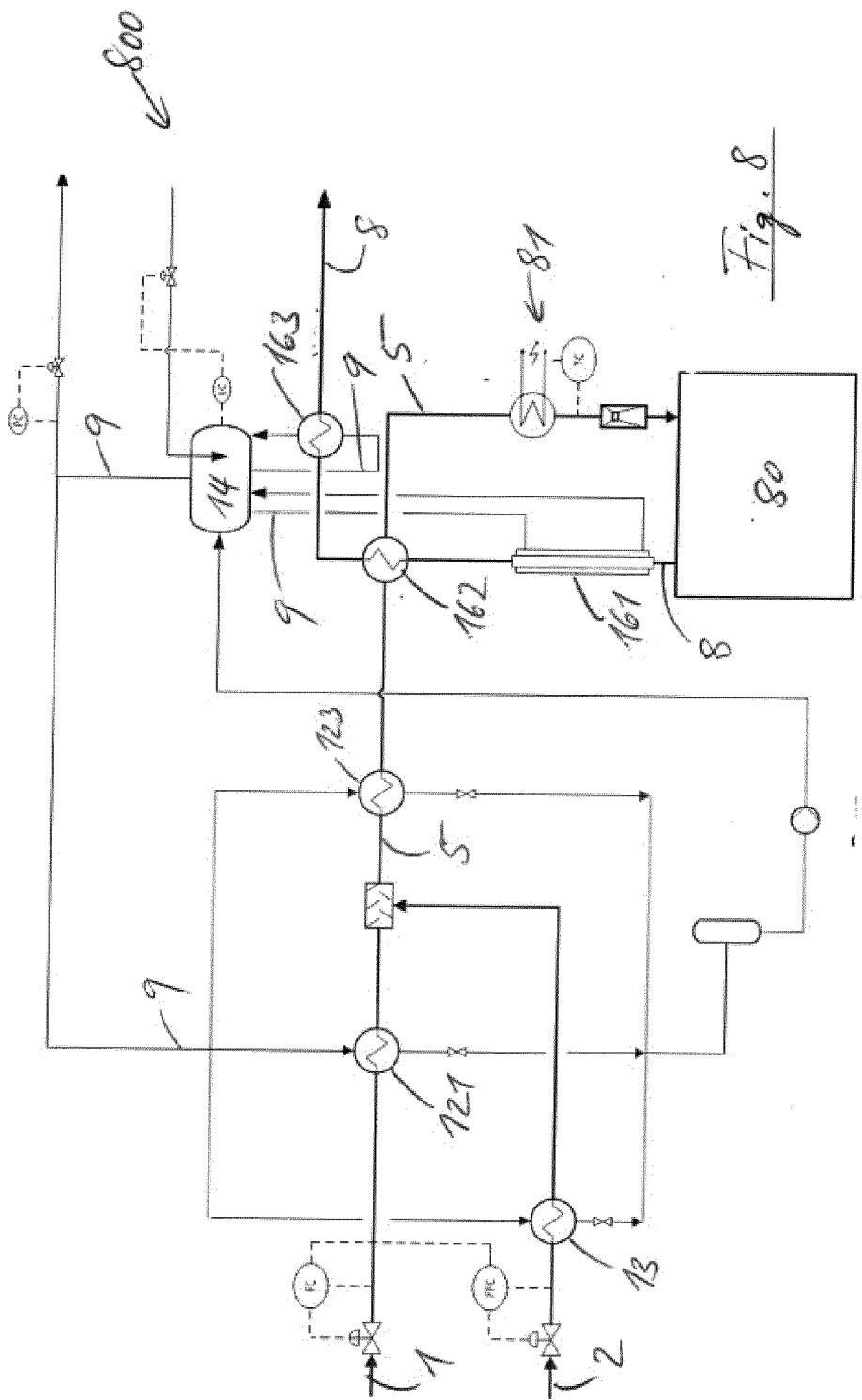


Fig. 7





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0429

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE				
	Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10	X	EP 4 056 894 A1 (LINDE GMBH [DE]) 14. September 2022 (2022-09-14) * Abbildungen 2,3,5,7,8 * * Absätze [0013], [0032], [0041], [0047], [0080], [0082], [0088], [0089], [0094], [0096] – [0098], [0105], [0108] * * Ansprüche 1-14 * -----	1-15	INV. C10G9/00 C10G9/36 C10G9/24
15	A	WO 2017/171942 A1 (EXXONMOBIL CHEMICAL PATENT INC [US]) 5. Oktober 2017 (2017-10-05) * Ansprüche 19-25 * * Absätze [0002], [0026] * -----	1-15	
20	A	WO 2021/016291 A1 (EXXONMOBIL CHEMICAL PATENTS INC [US]) 28. Januar 2021 (2021-01-28) * Abbildung 1 * * Absätze [0005], [0027], [0034] * -----	1-15	
25	A	CN 116 023 975 A (CHINA PETROLEUM & CHEM CORP ET AL.) 28. April 2023 (2023-04-28) * Absätze [0021], [0022] * * Abbildung 1 * -----	1-15	
30	A	CN 116 023 975 A (CHINA PETROLEUM & CHEM CORP ET AL.) 28. April 2023 (2023-04-28) * Absätze [0021], [0022] * * Abbildung 1 * -----	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C10G
35				
40				
45				
50	1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55		Recherchenort Den Haag	Abschlußdatum der Recherche 13. Februar 2024	Prüfer Zuurdeeg, Boudewijn
		KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	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	
		X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0429

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE									
	Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch						
10	A,D	<p><b>Heinz Zimmermann ET AL: "Ethylene"</b>  <b>In: "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry",</b>  <b>15. April 2009 (2009-04-15), Wiley-VCH Verlag, Weinheim, XP055007506,</b>  <b>ISBN: 978-3-52-730673-2</b>  <b>DOI: 10.1002/14356007.a10_045.pub3,</b>  <b>* 4. Raw Materials *</b>  <b>* 5.1.3. Commercial Cracking Yields *</b>  <b>* 5.1.6. Thermal Efficiency of Ethylene Furnaces *</b>  <b>* 5.2. Quenching of Hot Cracked Gas *</b>  <b>* 5.3. Recovery Section *</b>  <b>* Abbildungen 11,26,29 *</b>  -----</p>	1-15						
15									
20									
25									
30									
35									
40									
45									
50	1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt							
55		<table border="1"> <tr> <td>Recherchenort</td> <td>Abschlußdatum der Recherche</td> <td>Prüfer</td> </tr> <tr> <td>Den Haag</td> <td>13. Februar 2024</td> <td>Zuurdeeg, Boudewijn</td> </tr> </table>	Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	Den Haag	13. Februar 2024	Zuurdeeg, Boudewijn	
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer							
Den Haag	13. Februar 2024	Zuurdeeg, Boudewijn							
	KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze						
	X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist						
	Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument						
	A : technologischer Hintergrund		L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument						
	O : nichtschriftliche Offenbarung		.....						
	P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument						

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

EP 23 02 0429

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendifdokumente 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.

13-02-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	<b>EP 4056894</b> A1 14-09-2022	AU 2022235047 A1 BR 112023017590 A2 CA 3211811 A1 CN 116981880 A EP 4056894 A1 EP 4305345 A1 KR 20230155547 A WO 2022189424 A1	07-09-2023 07-11-2023 15-09-2022 31-10-2023 14-09-2022 17-01-2024 10-11-2023 15-09-2022	
20	-----			
25	WO 2017171942 A1 05-10-2017	CA 3019492 A1 CN 109073212 A EP 3436744 A1 KR 20180116400 A US 2017283713 A1 US 2020172815 A1 WO 2017171942 A1	05-10-2017 21-12-2018 06-02-2019 24-10-2018 05-10-2017 04-06-2020 05-10-2017	
30	-----			
35	WO 2021016291 A1 28-01-2021	CA 3147241 A1 CN 114144503 A US 2022259504 A1 WO 2021016291 A1 WO 2021016301 A1	28-01-2021 04-03-2022 18-08-2022 28-01-2021 28-01-2021	
40	-----			
45				
50				
55				

**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 Patentdokumente**

- EP 3415587 A1 **[0006]**

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. *Ethylene*, 15 April 2009 **[0002]**
- **R.K. SHAH ; D.P. SEKULIC.** Fundamentals of Heat Exchanger Design. John Wiley & Sons, 2003, 18, 19 **[0035]**