



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
29.11.2017 Patentblatt 2017/48

(51) Int Cl.:
C10G 55/00 (2006.01) **C10G 9/20 (2006.01)**
C10G 9/24 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16171381.3**

(22) Anmeldetag: **25.05.2016**

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

(72) Erfinder:
• **MATEOS, Daniel**
81373 München (DE)
• **PENNER, Florian**
82538 Geretsried (DE)
• **FRITZ, Helmut**
81375 München (DE)
• **SCHMIDT, Gunther**
82041 Deisenhofen (DE)

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(74) Vertreter: **m patent group**
Postfach 33 04 29
80064 München (DE)

(54) **EMISSIONSREDUZIERTES VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON OLEFINEN**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein emissionsreduziertes Verfahren (100) zur Herstellung von Olefinen durch Dampfspalten, bei dem unter Verwendung mehrerer Rohrreaktoren (10, 10a-10d), jeweils ein Gasgemisch bereitgestellt wird, wobei die unter Verwendung der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) bereitgestellten Gasgemische vereinigt werden. Es ist vorgesehen, dass zumindest einem, aber nicht allen der mehreren

Rohrreaktoren (10, 10a-10d) Verbrennungswärme, die durch Verfeuern wenigstens eines Brennstoffs erzeugt wird, zugeführt wird, und dass zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) Elektrowärme, die mittels elektrischer Energie erzeugt wird, zugeführt wird. Eine entsprechende Anlage zur emissionsreduzierten Herstellung von Olefinen durch Dampfspalten ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

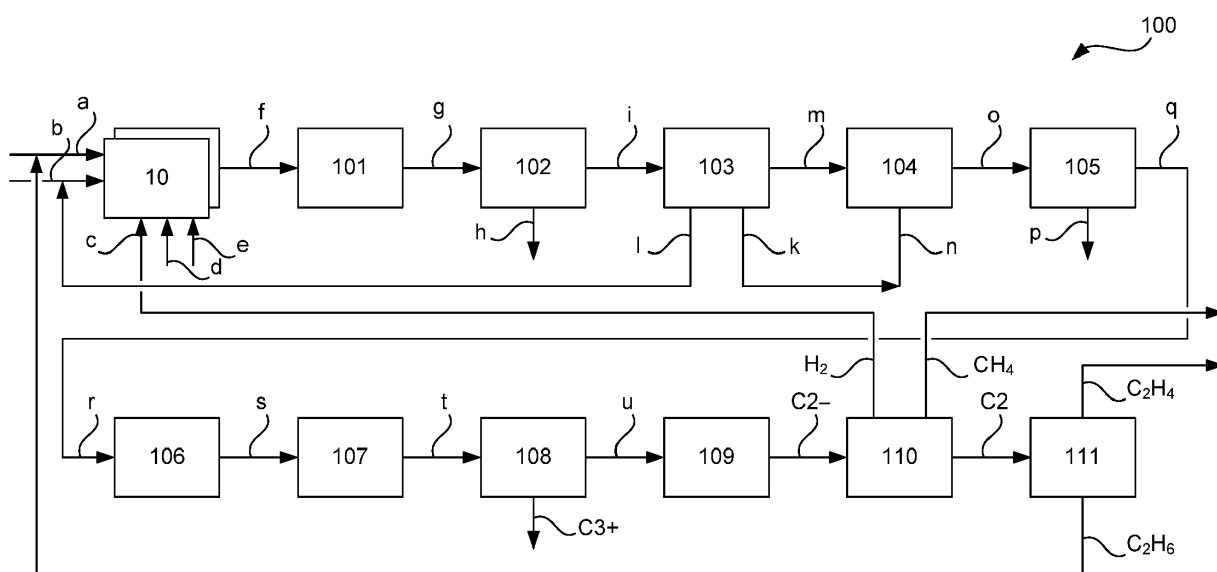


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein emissionsreduziertes Verfahren zur Herstellung von Olefinen und eine entsprechende Anlage gemäß den Oberbegriffen der jeweiligen unabhängigen Patentansprüche.

Stand der Technik

[0002] Verfahren und Vorrichtungen zum Dampfspalten (engl. Steam Cracking) und zur Aufbereitung der hierbei gewonnenen Gasgemische sind aus dem Stand der Technik in unterschiedlichen Ausgestaltungen bekannt. Zu weiteren Details sei auf einschlägige Fachliteratur, beispielsweise den Artikel "Ethylene" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Onlineausgabe, 2009, DOI 10.2002/14356007.a10_045.pub3 oder Falqi, F.: "The Miracle of Petrochemicals. Olefins Industry: An In-Depth Look at Steam-Crackers", Universal Publishers 2009, ISBN 1-59942-915-2, verwiesen.

[0003] In Verfahren und Vorrichtungen zum Dampfspalten werden typischerweise Rohrreaktoren eingesetzt, deren Reaktionsrohre unter Verwendung von Brennern von außen erwärmt werden. Die Reaktionsrohre können unterschiedlich ausgestaltet sein. Beispielsweise können Reaktionsrohre zunächst paarweise parallel geführt und anschließend zu einem gemeinsamen Reaktionsrohr vereinigt werden, oder es können durchgängig parallele Rohre zum Einsatz kommen. Die Dimensionierung der Reaktionsrohre richtet sich unter anderem nach den verwendeten Einsätzen.

[0004] In einem entsprechenden Reaktor können eine oder mehrere Brennkammern von typischerweise bis zu 15 m Höhe und 2 bis 3 m Breite vorgesehen sein, in denen wand- und/oder bodenmontierte Brenner angeordnet sind. Eine Brennkammer, durch die auch die Reaktionsrohre verlaufen, definiert eine sogenannte Strahlungszone. Sie steht unter leicht unteratmosphärischem Druck, der durch die zum Abzug der Rauchgase verwendeten Ventilatoren zustande kommt. Die Temperatur in einer Brennkammer beträgt typischerweise 1.000 bis 1.200 °C.

[0005] Der oder den Brennkammern, also der oder den Strahlungszonen, sind eine oder mehrere sogenannte Konvektionszonen nachgeordnet, in denen eine Nutzung der Wärme der Rauchgase erfolgt. Das Rauchgas mehrerer Brennkammern kann auch eine gemeinsame Konvektionszone geführt werden. Beispielsweise können in einer Konvektionszone der Einsatz, die den Brennern zugeführte Verbrennungsluft oder Kesselspeisewasser vorgewärmt oder Dampf erzeugt oder überhitzt werden.

[0006] Das in der Strahlungszone in den Reaktionsrohren gebildete Spaltgas wird zur Vermeidung von unerwünschten Weiterreaktionen rasch abgekühlt (sogenannter Quench bzw. Primärquench), wozu ein sogenannter Spaltgaskühler zum Einsatz kommt. Das Spaltgas mehrerer Reaktionsrohre kann in einer gemeinsamen Leitung zusammengefasst und in dieser durch einen

entsprechenden Spaltgaskühler geführt werden, oder die Reaktionsrohre können getrennt voneinander durch einen als Linearkühler ausgebildeten Spaltgaskühler verlaufen.

[0007] Beim Dampfspalten handelt es sich aufgrund der erforderlichen Wärmemengen um das Verfahren der chemischen Industrie, das am meisten Energie verbraucht. 2004 wurden etwa 30% der in der chemischen Industrie verbrauchten Energie beim Dampfspalten eingesetzt (T. Ren, Energy Efficiency and Innovative Emerging Technologies for Olefin Production, European Conference on Energy Efficiency in IPPC-Installations, 21. bis 22. Oktober 2004, Wien). 2000 wurden beim Dampfspalten bei einer Produktionsmenge von mehr als 150 Mt leichter Olefine durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe etwa 3 EJ Primärenergie verbraucht und nahezu 200 Mt Kohlendioxid emittiert (T. Ren et al., Steam cracking and methane to olefins: Energy use, CO₂ emissions and production costs, Energy 33, 2008, 817-833).

[0008] In den erläuterten Reaktoren wird dabei der überwiegende Anteil, nämlich 65% an Energie eingesetzt. Hier sind 75% der Gesamtexergieverluste zu verzeichnen. Etwa 15 bis 20% werden für die Kühlung, Verdichtung und Fraktionierung des Spaltgases eingesetzt. Der Energieaufwand für das Dampfspalten von Naphtha lässt sich beispielsweise durch verbesserte Materialien zur Verhinderung übermäßiger Verkokung verringern, wobei Energieeinsparungen von bis zu 20% im Bereich der Reaktoren möglich sind (T. Ren, 2004; siehe oben).

[0009] Aufgrund der ausgesprochen hohen Kohlendioxidemissionen beim Dampfspalten sind Einsparungen im Hinblick auf die globale Klimaproblematik besonders wünschenswert. Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, Emissionen, insbesondere von Kohlendioxid, beim Dampfspalten zu verringern.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Die vorliegende Erfindung schlägt ein emissionsreduziertes Verfahren zur Herstellung von Olefinen und eine entsprechende Anlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0011] Vor der Erläuterung der Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden deren Grundlagen und die verwendeten Begriffe erläutert.

[0012] Gasgemische können im hier verwendeten Sprachgebrauch "überwiegend oder ausschließlich" eine oder mehrere Komponenten enthalten sein, wobei "überwiegend" für einen Gehalt von wenigstens 50%, 75%, 90%, 95%, 99%, 99,5%, 99,9%, 99,99% oder 99,999% auf molarer, Gewichts- oder Volumenbasis stehen kann. Gasgemische können im hier verwendeten Sprachgebrauch ferner "angereichert" oder "abgereichert" an einer oder mehreren Komponenten sein, wobei sich diese Begriffe auf einen Gehalt in einem Ausgangsgasgemisch beziehen, aus das Gasgemisch erhalten

wurde. Das Gasgemisch ist "angereichert", wenn es zumindest den 1,1-fachen, 1,5-fachen, 2-fachen, 5-fachen, 10-fachen, 100-fachen oder 1.000-fachen Gehalt, "abgereichert", wenn es höchstens den 0,9-fachen, 0,5-fachen, 0,1-fachen, 0,01-fachen oder 0,001-fachen Gehalt einer Komponente, bezogen auf das Ausgangsgasgemisch enthält. Ist hier kurz von "Wasserstoff" die Rede, sei darunter reiner Wasserstoff verstanden oder ein Gasgemisch, das überwiegend oder ausschließlich Wasserstoff enthält.

[0013] Gängige Verfahren zur Fraktionierung von Gasgemischen aus Dampfspaltverfahren umfassen insbesondere die Erzeugung von Fraktionen auf Grundlage der Siedepunkte der enthaltenen Komponenten. In der Fachwelt werden für entsprechende Fraktionen Kurzbezeichnungen verwendet, die die Kohlenstoffanzahl der überwiegend oder ausschließlich enthaltenen Kohlenwasserstoffe angeben. So ist eine "C1-Fraktion" eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Methan (jedoch konventionsgemäß unter Umständen auch Wasserstoff, dann auch "C1 minus-Fraktion" genannt) enthält. Eine "C2-Fraktion" enthält überwiegend oder ausschließlich Ethan, Ethylen und/oder Acetylen. Eine "C3-Fraktion" enthält überwiegend Propan, Propylen, Methylacetylen und/oder Propadien. Eine "C4-Fraktion" enthält überwiegend oder ausschließlich Butan, Buten, Butadien und/oder Dimethylacetylen. Entsprechendes gilt für die "C5-Fraktion" und die höheren Fraktionen. Mehrere solcher Fraktionen können auch Verfahrens- und/oder bezeichnungsmäßig zusammengefasst werden. Beispielsweise enthält eine "C2plus-Fraktion" überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit zwei und mehr und eine "C2minus-Fraktion" überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit einem oder zwei Kohlenstoffatomen.

Vorteile der Erfindung

[0014] Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung ist der Einsatz von parallel betriebenen Rohrreaktoren beim Dampfspalten, die zum Teil mit elektrischer Energie, d.h. Elektrowärme, und zum Teil mit Verbrennungswärme beheizt werden. Auf diese Weise lassen sich im Rahmen der vorliegenden Erfindung beträchtliche Emissionsreduzierungen erzielen. Die vorliegende Erfindung kann auch ein Verfahren schaffen, bei denen überhaupt keine Kohlendioxidemissionen mehr auftreten, so dass ein sogenanntes "Zero Emission"-Verfahren geschaffen wird.

[0015] Ist hier davon die Rede, dass mehrere Rohrreaktoren "parallel angeordnet" sind, sei hierunter insbesondere verstanden, dass unter Verwendung dieser Rohrreaktoren jeweils bereitgestellte Gasgemische miteinander vereinigt werden. In "seriell" angeordneten Rohrreaktoren würde hingegen ein unter Verwendung eines der Rohrreaktoren bereitgestelltes Gasgemisch einem anderen der Rohrreaktoren zugeführt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können, wie auch unten noch

erläutert, zusätzlich auch derartige seriell angeordnete Rohrreaktoren vorgesehen sein, denen die vereinigten Gasgemische der parallel angeordneten Rohrreaktoren zugeführt wird, oder die ein Gasgemisch bereitstellen, das dann den parallel angeordneten Rohrreaktoren zugeführt wird.

[0016] Es kann auch vorgesehen sein, den parallel angeordneten Rohrreaktoren parallel identische Einsätze zuzuführen, die hierzu insbesondere von einer Hauptleitung ausgehend auf die parallel angeordneten Rohrreaktoren verteilt werden können. Eine parallele Anordnung schließt nicht aus, dass ein Volumenstrom durch einen der parallel angeordneten Rohrreaktoren deutlich von einem Volumenstrom durch einen anderen der parallel angeordneten Rohrreaktoren abweichen kann oder dass unterschiedliche Einsätze verwendet werden.

[0017] Die vorliegende Erfindung schlägt ein emissionsreduziertes Verfahren zur Herstellung von Olefinen durch Dampfspalten vor, bei dem unter Verwendung mehrerer Rohrreaktoren jeweils ein Gasgemisch bereitgestellt wird, wobei die unter Verwendung der mehreren Rohrreaktoren bereitgestellten Gasgemische vereinigt werden. Die vorliegende Erfindung setzt also parallel angeordnete Rohrreaktoren ein. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren Verbrennungswärme, die durch Verfeuern wenigstens eines Brennstoffs erzeugt wird, zugeführt wird, und dass zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren Elektrowärme, die mittels elektrischer Energie erzeugt wird, zugeführt wird.

[0018] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird es möglich, "sauber" erzeugbare Elektrowärme einzusetzen und parallel dazu insbesondere konventionelle Brennstoffe zu verfeuern. Die parallele Anordnung ermöglicht eine besondere Flexibilität. Insbesondere kann vorgesehen sein, beispielsweise je nach Angebot an elektrischer Energie oder an Brennstoffen, die jeweils entsprechend beheizten Reaktoren zumindest teilweise stillzulegen und das Verfahren in entsprechenden Zeiträumen in den anderen Reaktoren durchzuführen. Zu diesem Zweck können die "mehreren" Rohrreaktoren auch mehr als zwei Rohrreaktoren umfassen. Auf diese Weise kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine gewisse Verschiebung zwischen den parallel angeordneten Rohrreaktoren vorgesehen sein.

[0019] Bei parallel angeordneten Rohrreaktoren kann auch, beispielsweise je nach Angebot an elektrischer Energie oder an Brennstoffen, wie erwähnt, eine entsprechende Verschiebung in der Menge der den parallel angeordneten Rohrreaktoren zugeführten Einsatzgemische erfolgen. Mit anderen Worten können dann, wenn ein großes Angebot an elektrischer Energie vorliegt, dem oder den mittels Elektrowärme beheizten Rohrreaktoren größere Mengen eines Einsatzgemischs zugeführt werden, wobei gleichzeitig die Menge des Einsatzgemischs, das dem oder den mittels Verbrennungswärme beheizten Rohrreaktoren zugeführt wird, entsprechend redu-

ziert wird. Dabei kann je nach Bedarf eine Ab- oder Umschaltung eines oder mehrerer Rohrreaktoren oder auch nur eines Teils der in den entsprechenden Rohrreaktoren vorhandenen Reaktionsrohre erfolgen. In sämtlichen Fällen kann jedoch die Menge der mittels der Rohrreaktoren bereitgestellten Gasgemische konstant oder zumindest nahezu konstant gehalten werden.

[0020] Um eine Reduktion von Emissionen im Sinne der vorliegenden Erfindung zu erzielen, kann insbesondere vorgesehen sein, die zur Erzeugung der Elektrowärme verwendete Energie zumindest teilweise und/oder zumindest zeitweise regenerativ zu erzeugen. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann durch den erläuterten flexiblen Betrieb der Rohrreaktoren beispielsweise auch vorgesehen sein, zu Zeiten, zu denen ein Stromüberschuss besteht, beispielsweise tagsüber oder bei Sonnenschein bei einer Photovoltaikanlage oder bei hohem Windaufkommen bei einer Windenergieanlage, in einem ersten Verfahrensmodus erhöhte Mengen an Elektrowärme einzusetzen. In diesen Zeiträumen können auch beispielsweise Brennstoffe, die wie unten erläutert unter Verwendung der vereinigten Gasgemische der mehreren Rohrreaktoren gebildet werden können, zwischengespeichert werden. Dies kann insbesondere im Sinne eines bekannten "Peak Shaving" in großem Umfang anfallend elektrische Energie sinnvoll verwertet werden.

[0021] Zu Zeiten, zu denen entsprechende Energieüberschüsse an elektrischer Energie nicht zur Verfügung stehen, kann die Menge der eingesetzten Elektrowärme reduziert werden und stattdessen auf entsprechende Brennstoffe zur Erzeugung von Verbrennungswärme zurückgegriffen werden. In diesem zweiten Betriebsmodus können auch die in dem ersten Betriebsmodus ggf. zwischengespeicherten Brennstoffe eingesetzt werden. Auf diese Weise ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren eine besonders vorteilhafte Anpassung an schwankende Angebote elektrischer Energie. Auch wenn in Zeiträumen geringeren Angebots an elektrischer Energie, d.h. in dem zweiten Verfahrensmodus, ggf. keine oder nur eine geringe Emissionsreduzierung erzielt wird, ergibt sich durch Nutzung der regenerativen elektrischen Energie insgesamt jedoch eine entsprechende Verringerung. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann also (auch konventionelle) Verbrennungswärme und elektrische Energie in unterschiedlichen Anteilen, je nach Verfügbarkeit und Preis, eingesetzt werden.

[0022] In einem Verfahren gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird zumindest einem der mehreren Rohrreaktoren nur die Verbrennungswärme und zumindest einem der Rohrreaktoren mehreren Reaktoren nur die Elektrowärme zugeführt wird. Den entsprechenden Rohrreaktoren wird daher vorzugsweise keine weitere Wärme zugeführt. Auf diese Weise lassen sich auf die jeweilige Wärmequelle optimierte Reaktoren schaffen, die einen besonders effizienten und damit zur Emissionsreduktion beitragenden Betrieb ermöglichen.

[0023] Grundsätzlich ist es aber auch möglich, in einen Rohrreaktor sowohl Verbrennungswärme als auch Elektrowärme einzubringen. So können Reaktionsrohre, die elektrisch beheizt werden, zusätzlich durch Verbrennung von außen beheizt werden. Es ist auch möglich, in einem entsprechenden Rohrreaktor mittels Elektrowärme und mittels Verbrennungswärme beheizte Reaktionsrohre nebeneinander vorzusehen, insbesondere in unterschiedlichen Anteilen. Auch rein durch Verbrennungswärme und/oder rein durch Elektrowärme beheizte Rohrreaktoren können parallel zu gemischt beheizten Rohrreaktoren vorgesehen sein.

[0024] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist es möglich, dass die zumindest einem der mehreren Rohrreaktoren zugeführte Verbrennungswärme durch Verbrennen eines methanreichen Gasgemischs erzeugt wird. Dieses methanreiche Gasgemisch kann von anlagenextern, beispielsweise in Form von Erdgas, oder von anlagenintern bereitgestellt werden. In beiden Fällen kann auf bekannte Brennerkonzepte zurückgegriffen werden, die zur Beheizung entsprechender Rohrreaktoren etabliert und daher besonders zuverlässig sind.

[0025] Insbesondere kann das methanreiche Gasgemisch unter Verwendung der durch die mehreren Rohrreaktoren bereitgestellten und vereinigten Gasgemische gebildet werden. Insbesondere kann ein entsprechendes Gasgemisch in einem Demethanizer bereitgestellt werden. Auf diese Weise kann zumindest teilweise oder zumindest zeitweise auf extern bereitgestellte Energie verzichtet werden.

[0026] Zur Fraktionierung des Spaltgases eines Dampfspaltverfahrens sind aus dem Stand der Technik unterschiedliche Fraktionierungsverfahren bekannt, die auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung eingesetzt und zur Fraktionierung entsprechender Gasgemische werden können. Zu Details sei nochmals auf die eingangs erwähnte Fachliteratur verwiesen. Entsprechende Fraktionierungsverfahren unterscheiden sich unter anderem durch die Abfolge der Fraktionierungsschritte. Im Rahmen entsprechender Fraktionierungsverfahren werden aber typischerweise immer die erwähnten Demethanizer eingesetzt.

[0027] In einem Demethanizer wird aus einem Spaltgas bzw. einem aus dem Spaltgas gebildeten Gasgemisch eine leichte Fraktion abgetrennt, die einen niedrigeren Siedepunkt als Ethylen aufweisen, also insbesondere Wasserstoff und Methan. Es verbleibt eine schwerere Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit zwei Kohlenstoffatomen sowie ggf. zuvor in dem Gasgemisch enthaltene Kohlenwasserstoffe mit höherem Siedepunkt enthält. Die leichte Fraktion kann, beispielsweise durch Kondensation auf geeigneten Temperaturen, in eine überwiegend oder ausschließlich Wasserstoff enthaltende Fraktion und in eine überwiegend oder ausschließlich Methan enthaltende Fraktion getrennt werden. Die Trennung kann jedoch auch ganz oder teilweise unterbleiben, so dass ein Gemisch aus im Wesentlichen Wasserstoff und Methan vor-

liegt. Dieses wird auch als sogenannte Heizgasfraktion bezeichnet.

[0028] Zur Fraktionierung des Spaltgases eines Dampfspaltverfahrens bzw. eines aus einem entsprechenden Spaltgas gebildeten Gasgemischs kann beispielsweise eine Demethanizer-First- oder Front-End-Demethanizer-Fraktionierung zum Einsatz kommen. Hierbei steht der Demethanizer an erster Stelle der Fraktionierung. Daher enthält das im Demethanizer bearbeitete Spaltgas bzw. das aus dem Spaltgas gebildete Gasgemisch neben den Kohlenwasserstoffen mit zwei Kohlenstoffatomen auch Kohlenwasserstoffe mit drei und mehr Kohlenstoffatomen. In einer Deethanizer-First- oder Frontend-Deethanizer-Fraktionierung werden hingegen Kohlenwasserstoffe mit drei und mehr, in einer Depropanizer-First- oder Frontend-Depropanizer-Fraktionierung Kohlenwasserstoffe mit vier und mehr Kohlenstoffatomen zuvor abgetrennt und gelangen daher nicht mehr in den Demethanizer.

[0029] Ungeachtet der anschließenden Fraktionierung wird ein Spaltgas eines Dampfspaltverfahrens jedoch vor der Fraktionierung in geeigneter Weise aufbereitet. Details hierzu sind unter Bezugnahme auf die beigelegte Figur 1 veranschaulicht. Diese Aufbereitung umfasst insbesondere, da die Bearbeitung in einem Demethanizer eine Tieftemperaturtrennung vorsieht, insbesondere die Abtrennung von Kohlendioxid und die Trocknung des Produktgemischs. Ferner kann eine Entfernung von beispielsweise Kohlenmonoxid und anderer, nicht erwünschter Komponenten vorgenommen werden. Insbesondere werden schwere Kohlenwasserstoffe der Pyrolyseöl- und/oder Pyrolysebenzinfraktion stromauf des Demethanizers, Deethanizers oder Depropanizers in einer Primärfraktionierung abgetrennt.

[0030] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die zumindest einem der mehreren Rohrreaktoren zugeführte Verbrennungswärme durch Verbrennen eines wasserstoffreichen Gasgemischs erzeugt wird. Auf diese Weise lassen sich die Kohlendioxidemissionen eines entsprechenden Verfahrens besonders effizient reduzieren. Auch ein entsprechendes wasserstoffreiches Gasgemisch kann von anlagenextern oder von anlagenintern bereitgestellt werden. Insbesondere kann auch das wasserstoffreiche Gasgemisch unter Verwendung der durch die mehreren Rohrreaktoren bereitgestellten und vereinigten Gasgemische gebildet werden, beispielsweise ebenfalls in einem Demethanizer. Da in einem entsprechenden Demethanizer auch eine Wasserstoff- und Methan enthaltende Fraktion (die erwähnte Heizgasfraktion) anfallen kann, kann auch diese genutzt werden. Durch den Wasserstoffanteil im Vergleich zu beispielsweise Erdgas verringern sich auch hier die Emissionen.

[0031] Im Gegensatz zu herkömmlich betriebenen Rohrreaktoren zum Dampfspalten, in denen typischerweise eine Beheizung mit ca. 10% extern bereitgestelltem Brennstoff und ca. 90% einer rückgeführten Heizgasfraktion erfolgt, können durch die Verbrennung von Wasserstoff insbesondere die Kohlendioxidemissionen

im Rahmen des Verfahrens gemäß der soeben erläuterten Ausführungsform deutlich reduziert werden. Selbst wenn die Wirtschaftlichkeit im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens möglicherweise unterhalb der Wirtschaftlichkeit herkömmlich betriebener Rohrreaktoren liegt, besteht der große Vorteil der vorliegenden Erfindung darin, dass die Emissionen drastisch reduziert sind. Durch den Einsatz von Wasserstoff anstelle von Kohlenwasserstoffen als Brennstoff können die bei der Beheizung des oder der entsprechenden Rohrreaktoren in herkömmlichen Verfahren durch die Verfeuerung von Kohlenwasserstoffen unvermeidlichen Emissionen auf null reduziert werden. Als Verbrennungsabgas des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahrens wird dann idealerweise lediglich Wasserdampf gebildet. In allen Fällen ist es möglich, beispielsweise um Minderangebote entsprechender Brennstoffe auszugleichen, auch weitere geeignete als die genannten Brennstoffe einzusetzen **[0032]** Neben dem jeweiligen Brennstoff können dem oder den Brennern in einem oder mehreren mit Verbrennungswärme beheizten Rohrreaktoren auch ein oder mehrere Verbrennungsunterstützungsgase wie Luft oder Sauerstoff zugeführt werden. Beispielsweise kann durch die Verwendung von Sauerstoff oder sauerstoffangereicherter Luft als Verbrennungsunterstützungsgas die Stickstoffkonzentration bei der Verbrennung reduziert werden. Auf diese Weise kann auch die Emission von Stickoxiden gegenüber bekannten Verfahren, bei denen Verbrennungsluft eingesetzt wird, beträchtlich verringert werden.

[0033] Wie bereits erläutert, kann es gemäß der vorliegenden Erfindung insbesondere vorgesehen sein, den mehreren Rohrreaktoren ein Einsatzgasgemisch zuzuführen, das auf die Rohrreaktoren verteilt wird. Wie erwähnt, kann dabei auch eine flexible Verteilung erfolgen, insbesondere um den entsprechenden Angeboten an Elektrowärme bzw. Verbrennungswärme gerecht zu werden.

[0034] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann auch eine erweiterte parallele Anordnung von Rohrreaktoren vorgenommen werden. In diesem Fall sind zwei (oder mehr) Gruppen an parallel angeordneten Rohrreaktoren vorgesehen, wobei ein den parallel angeordneten Rohrreaktoren einer Gruppe entnommenes Gasgemisch den parallel angeordneten Rohrreaktoren einer anderen Gruppe zugeführt wird. Dies ist insbesondere auch in der Figurenbeschreibung nochmals erläutert. Ein derartiges Verfahren, bzw. die Verwendung von parallel angeordneten Rohrreaktoren an sich, hat den besonderen Vorteil, dass Einsätze und Wärme gezielt auf diese verteilt werden können und gleichzeitig auch eine besonders vorteilhafte Vor- und Nachwärmung von entsprechenden Einsätzen vorgenommen werden kann.

[0035] Es kann also, mit anderen Worten, im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgesehen sein, dass die mehreren Rohrreaktoren in mehreren Gruppen angeordnet sind, wobei die Anzahl von Rohrreaktoren derart ge-

wählt ist, dass jede dieser mehreren Gruppen mehrere Rohrreaktoren umfasst, und wobei die Gasgemische, die jeweils unter Verwendung der Rohrreaktoren einer Gruppe bereitgestellt und vereinigt werden, den Rohrreaktoren einer anderen Gruppe zugeführt werden.

[0036] Auch in einer oder mehreren solcher Gruppen kann vorgesehen sein, die Beheizung unterschiedlicher Rohrreaktoren unterschiedlich zu gestalten. Hierbei ergeben sich die zuvor erwähnten Vorteile. Mit anderen Worten kann zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren in zumindest einer der mehreren Gruppen die Verbrennungswärme und zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren in der zumindest einen der mehreren Gruppen die Elektrowärme zugeführt werden. Besonders vorteilhaft kann sein, wenn zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren in zumindest einer der mehreren Gruppen nur die Verbrennungswärme und zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren in der zumindest einen der mehreren Gruppen nur die Elektrowärme zugeführt. Auch hier sind sämtliche Ausgestaltungsvarianten möglich, die oben unter Bezugnahme auf die parallele Anordnung grundsätzlich erläutert wurden. Auf die entsprechenden Vorteile wird dabei verwiesen.

[0037] Neben den erfindungsgemäß vorgesehenen und wie oben erläutert betriebenen parallel angeordneten Rohrreaktoren können auch zusätzliche Rohrreaktoren vorgesehen sein, die seriell zu diesen parallel angeordneten Rohrreaktoren angeordnet sind. Beispielsweise kann wenigstens ein weiterer Rohrreaktor bereitgestellt sein, der mit den unter Verwendung der mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren bereitgestellten und vereinigten Gasgemischen gespeist wird. Dieser weitere Rohrreaktor kann ebenfalls mit Elektro- und/oder Verbrennungswärme beheizt werden, wie grundsätzlich zuvor erläutert. Durch eine entsprechende Anordnung ist es möglich, in den parallel angeordneten Rohrreaktoren einen Einsatz vorzuwärmen oder teilweise umzusetzen und den vorgewärmten bzw. teilweise umgesetzten Einsatz dann in dem oder den seriell angeordneten zusätzlichen Rohrreaktoren nachzuwärmen bzw. weiter umzusetzen.

[0038] Es kann alternativ oder zusätzlich auch wenigstens ein weiterer Rohrreaktor bereitgestellt werden, unter dessen Verwendung ein Gasgemisch bereitgestellt wird, das den mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren zugeführt wird. Ein entsprechender, seriell vor den parallel angeordneten Rohrreaktoren angeordneter Rohrreaktor kann insbesondere zur Vorwärmung verwendet werden. Dieser weitere Rohrreaktor kann ebenfalls mit Elektro- und/oder Verbrennungswärme beheizt werden, wie grundsätzlich zuvor erläutert.

[0039] Weil im Rahmen der vorliegenden Erfindung teilweise ein Einsatz von Elektrowärme erfolgt, stehen nicht in dem Umfang heiße Verbrennungsgase zur Verfügung, wie dies in herkömmlichen betriebenen Rohrreaktoren der Fall ist. Daher steht auch für die Erzeugung von Dampf in der Konvektionszone entsprechender

Rohrreaktoren, die eingangs erläutert wurde, eine geringere Energiemenge zur Verfügung. Daher kann es dazu kommen, dass im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens erzeugter Dampf nicht mehr für den Betrieb üblicherweise in einem entsprechenden Verfahren vorgesehenen Dampfturbinen ausreicht. Daher sieht ein Verfahren gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vor, das wenigstens eins mittels elektrischer Energie angetriebener Verdichter zum Einsatz kommt. Dieser Verdichter kann beispielsweise zur sogenannten Rohgasverdichtung eingesetzt werden, wie sie auch unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren erläutert ist. Auch hier kann zum Antrieb des oder der Verdichter regenerativ erzeugter elektrischer Energie eingesetzt werden.

[0040] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auch auf eine Anlage zur Herstellung von Olefinen durch Dampfspalten, mit mehreren Rohrreaktoren, die dazu eingerichtet sind, jeweils ein Gasgemisch bereitzustellen, und mit Mitteln, die dazu eingerichtet sind, die unter Verwendung der mehreren Rohrreaktoren bereitgestellten Gasgemische zu vereinigen. Erfindungsgemäß sind Mittel vorgesehen, die dafür eingerichtet sind, zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren Verbrennungswärme, die durch Verfeuern wenigstens eines Brennstoffs erzeugt wird, zuzuführen, und Mittel, die dafür eingerichtet sind, zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren Elektrowärme, die mittels elektrischer Energie erzeugt wird, zuzuführen.

[0041] Eine derartige Anlage ist vorzugsweise zur Durchführung eines Verfahrens eingerichtet, wie es zuvor erläutert wurde, und weist hierzu entsprechend eingerichtete Mittel auf. Auf die entsprechenden Merkmale und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens, die zuvor ausdrücklich erläutert wurden, sei daher ausdrücklich verwiesen.

[0042] Die vorliegende Erfindung wird anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele in den beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

[0043] Kurze Beschreibung der Zeichnung

Figur 1 zeigt ein Verfahren gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Figuren 2A bis 2C zeigen in einem Verfahren gemäß einer Ausführungsform der Erfindung einsetzbare Reaktoranordnungen.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

[0044] In Figur 1 ist ein emissionsreduziertes Verfahren zur Herstellung von Olefinen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung schematisch veranschaulicht und insgesamt mit 100 bezeichnet. Wird nachfolgend das Verfahren beschrieben, gelten die entsprechenden Erläuterungen für eine Anlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in gleicher Weise.

[0045] Das in Figur 1 gezeigte Verfahren 100 umfasst

eine Deethanizer-First-Fraktionierung eines Spaltgases. Wie mehrfach erläutert, eignet sich die vorliegende Erfindung aber in gleicher Weise für den Einsatz anderen Fraktionierungen, beispielsweise in einer Deethanizer- oder Depropanizer-First-Fraktionierung.

[0046] In dem Verfahren 100 werden mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 bzw. dessen oder deren Reaktionsrohren ein oder mehrere Kohlenwasserstoffströme a und ein oder mehrere Dampfströme b zugeführt. Den mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 können seriell ein oder mehrere Rohrreaktoren vor- oder nachgeschaltet sein (nicht gezeigt). Auch eine Dampferzeugung erst in dem oder den Rohrreaktoren ist möglich. In den mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10, insbesondere deren Konvektionszone oder Konvektionszonen, können dabei der oder die Kohlenwasserstoffströme und der oder die Dampfströme vorgewärmt oder überhitzt werden. Auch eine Dampferzeugung ist möglich. Auch weitere Ströme, beispielsweise Verbrennungsluft, können entsprechend erwärmt werden. Details zu im Rahmen der vorliegenden Erfindung einsetzbaren mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 sind in den nachfolgenden Figuren 2A bis 2C veranschaulicht.

[0047] Gemäß der in Figur 1 veranschaulichten Ausführungsform der Erfindung wird einer oder ein Teil der mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 unter Verwendung von Verbrennungswärme beheizt, die unter Verwendung eines oder mehrerer überwiegend oder ausschließlich Wasserstoff enthaltender Ströme c erzeugt wird, dessen oder deren Gewinnung nachfolgend noch ausführlich erläutert wird. Auch ein oder mehrere weitere Brennstoffströme oder beispielsweise im Prozess abgetrenntes Methan oder ein Heizgasstrom aus einem Demethanizer können alternativ oder zusätzlich zur Bereitstellung der Verbrennungswärme verwendet werden. Dies ist mit einem Strom d veranschaulicht. Die Beheizung eines oder mehrerer anderer der mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 erfolgt unter Verwendung von elektrischem Strom, wie in Form eines Pfeils e veranschaulicht. Generell ist der Betrieb unterschiedlicher Rohrreaktoren 10 unter Verwendung unterschiedlicher Energiequellen möglich, wie oben erläutert.

[0048] In den mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 und ggf. unter Verwendung vor- oder nachgeschalteter Rohrreaktoren wird ein Spaltgas erzeugt, das in Form eines Stroms f einer oder mehreren Quencheinrichtungen 101 zugeführt werden kann. Hierbei können eine Kühleinrichtung in Form eines Linearkühlers (Primärquencher) und eine Ölsäule (Sekundärquencher, Ölquencher) verwendet werden. Das entsprechend abgekühlte Spaltgas kann in Form eines Stroms g in eine Primärfraktionierung überführt werden, wo Pyrolyseheizöl in Form eines Stroms h abgetrennt werden kann. Das entsprechend primärfractionierte Spaltgas kann dann in Form eines Stroms i einer Wasserwäsche 103 zugeführt werden. In der Wasserwäsche 103 kann mittels Waschwasser Pyrolysebenzin in Form eines Stroms k aus dem

Spaltgas abgetrennt werden. Bei der Wasserwäsche wird auch der noch vorhandene Prozessdampf kondensiert. Das dabei anfallende Wasser kann in Form eines Stroms l zu Prozessdampf umgesetzt werden, der zusammen mit dem Strom b in die parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 eingespeist werden kann. Wie erwähnt, kann auch erst in den Rohrreaktoren 10 bzw. deren Konvektionszonen eine Dampferzeugung erfolgen.

[0049] Stromab der Wasserwäsche kann das Spaltgas in Form eines Stroms m in einer ersten Verdichtung 104 unterworfen werden, in der weiteres Pyrolysebenzin in Form eines Stroms n anfallen kann. Der Strom n kann mit dem Strom k vereinigt werden. Das teilweise verdichtete Spaltgas kann anschließend einer Sauer gasentfernung 105 unterworfen werden, in der beispielsweise Kohlendioxid in Form eines Stroms p abgetrennt werden kann. Das auf diese Weise bearbeitete Spaltgas kann nun in Form eines Stroms r einer weiteren Verdichtung 106 unterworfen werden. Nach einer entsprechenden Verdichtung kann das Spaltgas in Form eines Stroms s einer Trocknung und Kühlung 107 und anschließend in Form eines Stroms t einer Deethanisierung 108 unterworfen werden.

[0050] In der Deethanisierung 108 kann eine Fraktion gebildet werden, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit drei und mehr Kohlenstoffatomen enthält, also eine C3plus-Fraktion. Diese kann in Form eines entsprechenden Stroms, hier mit C3+ veranschaulicht, abgezogen werden. In der Deethanisierung kann ferner eine Fraktion gebildet werden, die überwiegend oder ausschließlich Wasserstoff, Methan und Kohlenwasserstoffe mit zwei Kohlenstoffatomen, darunter Ethan, Ethylen und Acetylen, enthält. Diese kann in Form eines entsprechenden Stroms, hier mit u bezeichnet, einer C2-Hydrierung 109 zugeführt werden. In der C2-Hydrierung 109 kann Acetylen zu Ethylen hydriert werden. Anstelle einer C2-Hydrierung kann auch beispielsweise eine sogenannte Frontend-Hydrierung eingesetzt werden. In der C2-Hydrierung wird ein Gasgemisch erhalten, das nun noch überwiegend oder ausschließlich Wasserstoff, Methan, Ethan und Ethylen enthält.

[0051] Dieses, auch als C2minus-Fraktion bezeichnete Gasgemisch kann in Form eines Stroms C2- einer Demethanisierung 110 zugeführt werden. In der Demethanisierung 110 kann ein überwiegend oder ausschließlich Wasserstoff enthaltender Strom H₂ und ein überwiegend oder ausschließlich Methan enthaltender Strom CH₄ gebildet werden. Es kann auch zunächst ein Strom gebildet werden, der Wasserstoff und Methan enthält, und der dann in den überwiegend oder ausschließlich Wasserstoff enthaltenden Strom H₂ und den überwiegend oder ausschließlich Methan enthaltenden Strom CH₄ aufgetrennt wird. Der überwiegend oder ausschließlich Wasserstoff enthaltende Strom H₂ kann gemäß der hier dargestellten Ausführungsform der Erfindung in Form des Stroms c einem oder einem Teil der mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 zur Beheizung verwendet werden. Der überwiegend oder ausschließlich Me-

than enthaltende Strom CH_4 kann grundsätzlich ebenfalls hierfür verwendet werden, beispielsweise alternativ oder zusätzlich zu dem Strom c als Strom d. Auch ein Wasserstoff und Methan enthaltender Strom aus der Demethanisierung kann als Strom d verwendet werden.

[0052] Die überwiegend oder vollständig von Wasserstoff und Methan befreite Fraktion, die nun noch überwiegend oder ausschließlich Ethan und Ethylen enthält, also eine C2-Fraktion, kann nun in Form eines Stroms C2 einem C2-Splitter 111 zugeführt und in diesem in eine Ethylen- und eine Ethanfraktion getrennt werden. Die Ethylenfraktion kann in Form eines Stroms C_2H_4 als Produkt ausgeführt werden, die Ethanfraktion kann in Form eines Stroms C_2H_6 in den oder die Rohrreaktoren 10 zurückgeführt und dort weiter umgesetzt werden.

[0053] Nicht veranschaulicht ist die weitere Behandlung des Stroms C3+. Beispielsweise können in einem entsprechenden Verfahren eine Depropanisierung, Debutanisierung, C3-Hydrierung und ein C3-Splitter vorgesehen sein.

[0054] In den Teilfiguren 2A bis 2C der Figur 2 sind Anordnungen mit jeweils mehreren Rohrreaktoren gezeigt, die in einem Verfahren gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, beispielsweise einem Verfahren 100 gemäß Figur 1 zum Einsatz kommen können. Die jeweils bereits zu Figur 1 erwähnten, mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren sind auch hier mit 10 bezeichnet, die entsprechenden Einzelreaktoren der mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 mit 10a bis 10d.

[0055] Wie in Teilfigur 2A veranschaulicht, können den mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 dabei jeweils Anteile eines Kohlenwasserstoffstroms a und eines Dampfstroms b zugeführt. Es ist aber grundsätzlich auch möglich, Wasser und Dampf nicht aus einer gemeinsamen Quelle bereitzustellen. Beispielsweise können den Rohrreaktoren 10a und 10b unterschiedliche Kohlenwasserstoffeinsätze zugeführt werden, einem der Einsätze kann ein weiterer Kohlenwasserstoffstrom zugepeist werden usw. Die Aufteilung ist beliebig. Die unter Verwendung der Rohrreaktoren 10a und 10b bereitgestellten Gasgemische, also das Spaltgas, werden zu dem bereits in Figur 1 gezeigten Strom f vereinigt.

[0056] Wie in Teilfigur 2A veranschaulicht, wird der Rohrreaktor 10a mittels Elektrowärme, wie in Figur 1 mit Strom e veranschaulicht, der Rohrreaktor 10b hingegen mit Verbrennungswärme beheizt. Die Verbrennungswärme wird dabei unter Verwendung des Stroms c und/oder des Stroms d bereitgestellt. Zu weiteren Erläuterungen sei auf Figur 1 verwiesen. Die Verbrennungswärme kann also unter Verwendung unterschiedlicher Brennstoffe bereitgestellt werden.

[0057] Gemäß Teilfigur 2B ist den mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 ein weiterer Rohrreaktor 10c seriell nachgeschaltet, der im dargestellten Beispiel mit Verbrennungswärme beheizt wird, die dabei unter Verwendung des Stroms c und/oder des Stroms d bereitgestellt wird. Alternativ oder zusätzlich ist aber auch eine elektrische Beheizung möglich. Die unter Ver-

wendung der Rohrreaktoren 10a und 10b bereitgestellten Gasgemische, also ein beispielsweise ein erst teilweise umgesetztes Spaltgas, wird zu einem Strom x vereinigt, der dem weiteren Rohrreaktor 10c zugeführt und dort weiter zu dem Strom f bearbeitet wird.

[0058] Gemäß Teilfigur 2C ist den mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 ein weiterer Rohrreaktor 10d seriell vorgeschaltet, der im dargestellten Beispiel mit Verbrennungswärme beheizt wird, die dabei unter Verwendung des Stroms c und/oder des Stroms d bereitgestellt wird. Alternativ oder zusätzlich ist aber auch eine elektrische Beheizung möglich. Die unter Verwendung der Rohrreaktoren 10a und 10b bereitgestellten Gasgemische, also ein beispielsweise ein erst teilweise umgesetztes Spaltgas, werden zu dem Strom f vereinigt. Dem Rohrreaktor 10d kann der Kohlenwasserstoffstrom a zugeführt werden. Ferner kann dem Rohrreaktor 10d ein Dampfstrom zugeführt werden (nicht veranschaulicht). Der Rohrreaktor 10d kann zur Vorwärmung oder teilweisen Umsetzung der Kohlenwasserstoffe des Kohlenwasserstoffstroms a verwendet werden. Ein hierbei erhaltenes Gasgemisch kann in Form eines Stroms y den mehreren parallel angeordneten Rohrreaktoren 10 zugeführt werden.

[0059] Anstelle des einzelnen Rohrreaktors 10c bzw. 10d der Teilfiguren 2B und 2C können auch jeweils mehrere parallel angeordnet Rohrreaktoren vorgesehen sein. In dieser Ausgestaltung können mehrere repetitive Einheiten an Rohrreaktoren 10a und 10b in entsprechenden Gruppen seriell hintereinander angeordnet sein.

Patentansprüche

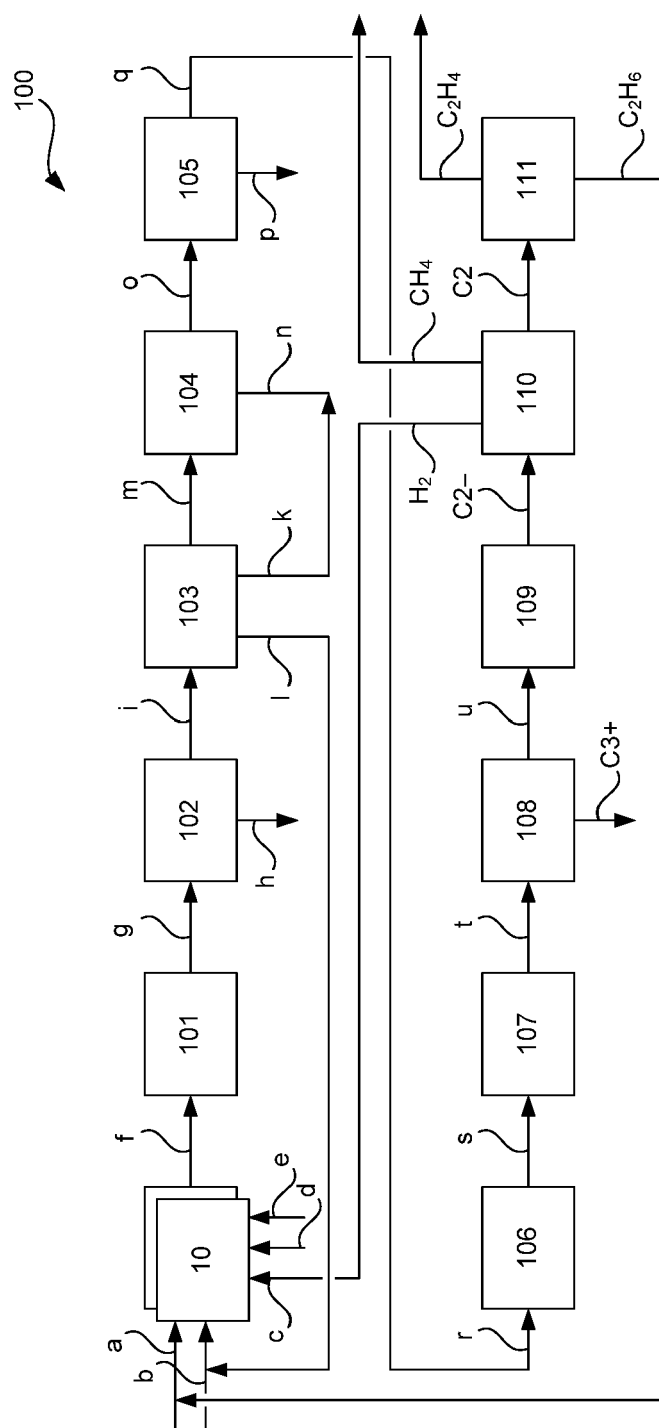
1. Emissionsreduziertes Verfahren (100) zur Herstellung von Olefinen durch Dampfspalten, bei dem unter Verwendung mehrerer Rohrreaktoren (10, 10a-10d) jeweils ein Gasgemisch bereitgestellt wird, wobei die unter Verwendung der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) bereitgestellten Gasgemische vereinigt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) Verbrennungswärme, die durch Verfeuern wenigstens eines Brennstoffs erzeugt wird, zugeführt wird, und dass zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) Elektrowärme, die mittels elektrischer Energie erzeugt wird, zugeführt wird.
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1, bei dem zumindest einem der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) nur die Verbrennungswärme und zumindest einem der mehreren Reaktoren (10, 10a-10d) nur die Elektrowärme zugeführt wird.
3. Verfahren (100) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die zumindest einem der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) zugeführte Verbrennungswärme

durch Verbrennen eines methanreichen Gasgemischs erzeugt wird.

4. Verfahren (100) nach Anspruch 3, bei dem das methanreiche Gasgemisch unter Verwendung der durch die mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) bereitgestellten und vereinigten Gasgemische gebildet wird. 5
5. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die zumindest einem der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) zugeführte Verbrennungswärme durch Verbrennen eines wasserstoffreichen Gasgemischs erzeugt wird. 10
6. Verfahren (100) nach Anspruch 5, bei dem das wasserstoffreiche Gasgemisch unter Verwendung der durch die mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) bereitgestellten und vereinigten Gasgemische gebildet wird. 20
7. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem zumindest zweien der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) ein Einsatzgasgemisch zugeführt wird, das auf die zumindest zwei Rohrreaktoren (10, 10a-10d) verteilt wird. 25
8. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) in mehreren Gruppen angeordnet sind, wobei die Anzahl von Rohrreaktoren (10, 10a-10d) derart gewählt ist, dass jede dieser mehreren Gruppen mehrere Rohrreaktoren (10, 10a-10d) umfasst, und die Gasgemische, die jeweils unter Verwendung der Rohrreaktoren (10, 10a-10d) einer Gruppe bereitgestellt und vereinigt werden, den Rohrreaktoren (10, 10a-10d) einer anderen Gruppe zugeführt werden. 30
9. Verfahren (100) nach Anspruch 6, bei dem zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) in zumindest einer der mehreren Gruppen die Verbrennungswärme und zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) in der zumindest einen der mehreren Gruppen die Elektrowärme zugeführt wird. 35
10. Verfahren (100) nach Anspruch 9, bei dem zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) in zumindest einer der mehreren Gruppen nur die Verbrennungswärme und zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) in der zumindest einen der mehreren Gruppen nur die Elektrowärme zugeführt wird. 40
11. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden An- 45

sprüche, bei dem wenigstens ein weiterer Rohrreaktor (10, 10a-10d) bereitgestellt ist, der mit den unter Verwendung der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) bereitgestellten und vereinigten Gasgemischen gespeist wird.

12. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem wenigstens ein weiterer Rohrreaktor (10, 10a-10d) bereitgestellt ist, unter dessen Verwendung ein Gasgemisch bereitgestellt wird, das den mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) nach einem der vorstehenden Ansprüche zugeführt wird. 50
13. Anlage zur Herstellung von Olefinen durch Dampfsplalten, mit mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d), die dazu eingerichtet sind, jeweils ein Gasgemisch bereitzustellen, und mit Mitteln, die dazu eingerichtet sind, die unter Verwendung der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) bereitgestellten Gasgemische zu vereinigen, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mittel vorgesehen sind, die dafür eingerichtet sind, zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) Verbrennungswärme, die durch Verfeuern wenigstens eines Brennstoffs erzeugt wird, zuzuführen, und dass Mittel vorgesehen sind, die dafür eingerichtet sind, zumindest einem, aber nicht allen der mehreren Rohrreaktoren (10, 10a-10d) Elektrowärme, die mittels elektrischer Energie erzeugt wird, zuzuführen. 55
14. Anlage nach Anspruch 13, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche eingerichtet ist.



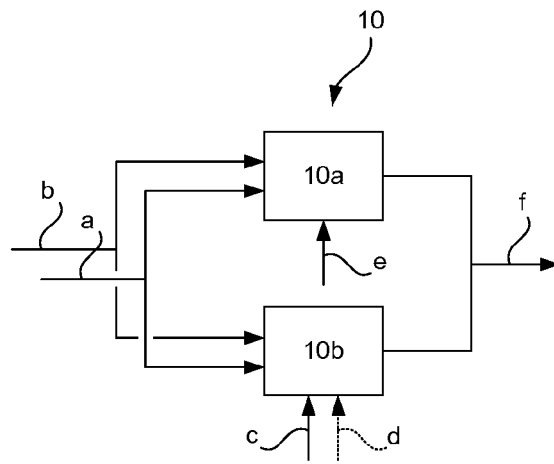


Fig. 2A

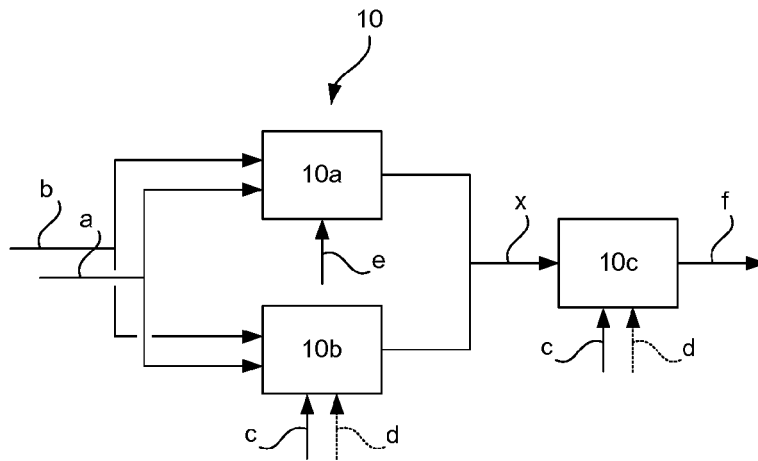


Fig. 2B

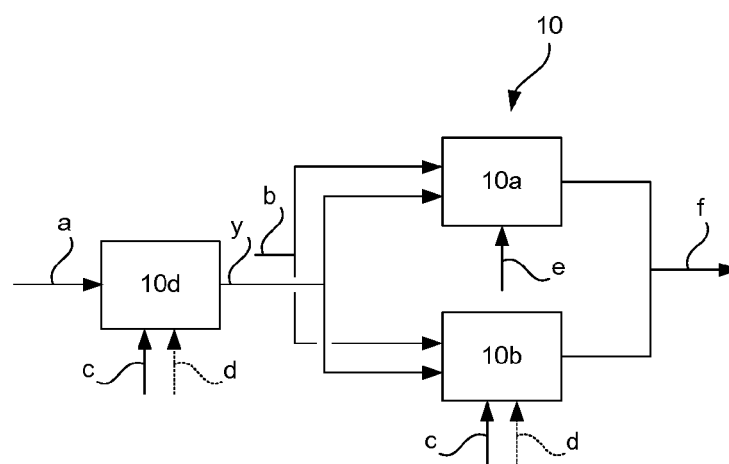


Fig. 2C



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 16 17 1381

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	DE 10 2014 202285 A1 (LINDE AG [DE]) 13. August 2015 (2015-08-13) * Absätze [0018], [0019], [0064], [0067]; Abbildung 1 *	1-14	INV. C10G55/00 C10G9/20 C10G9/24
Y	WO 2014/090914 A1 (BASF SE [DE]; LINDE AG [DE]) 19. Juni 2014 (2014-06-19) * Seite 6, Zeilen 13-16 * * Seite 9, Zeilen 4-7 * * Seite 12, Zeilen 8-21 *	1-14	
A	US 2006/116543 A1 (BELLET SERGE [FR] ET AL) 1. Juni 2006 (2006-06-01) * Absätze [0006] - [0009] *	1-14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C10G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 21. November 2016	Prüfer Galleiske, Anke
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

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

EP 16 17 1381

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

21-11-2016

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 102014202285 A1	13-08-2015	AU 2015214110 A1	22-09-2016
			CA 2942839 A1	13-08-2015
			CN 105980339 A	28-09-2016
15			DE 102014202285 A1	13-08-2015
			EP 3102553 A1	14-12-2016
			TW 201531455 A	16-08-2015
			WO 2015118125 A1	13-08-2015

20	WO 2014090914 A1	19-06-2014	AR 094016 A1	01-07-2015
			AU 2013357293 A1	23-07-2015
			CA 2894958 A1	19-06-2014
			CN 104902991 A	09-09-2015
			EP 2931415 A1	21-10-2015
25			JP 2016507358 A	10-03-2016
			KR 20150094705 A	19-08-2015
			US 2015321912 A1	12-11-2015
			WO 2014090914 A1	19-06-2014

30	US 2006116543 A1	01-06-2006	AT 236234 T	15-04-2003
			AU 5993400 A	30-01-2001
			CA 2377770 A1	18-01-2001
			CN 1358222 A	10-07-2002
			DE 60001946 D1	08-05-2003
			DE 60001946 T2	08-01-2004
35			EP 1192236 A1	03-04-2002
			ES 2194754 T3	01-12-2003
			FR 2796078 A1	12-01-2001
			JP 4585729 B2	24-11-2010
			JP 2003504485 A	04-02-2003
40			US 2006116543 A1	01-06-2006
			WO 0104236 A1	18-01-2001

45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Ethylene. 2009 [0002]
- **FALQI, F.** The Miracle of Petrochemicals. Olefins Industry: An In-Depth Look at Steam-Crackers. Universal-Publishers, 2009 [0002]
- **T. REN.** Energy Efficiency and Innovative Emerging Technologies for Olefin Production, European Conference on Energy Efficiency. *IPPC-Installations*, 22. Oktober 2004, vol. 21 [0007]
- **T. REN et al.** Steam cracking and methane to olefins: Energy use, CO₂ emissions and production costs. *Energy*, 2008, vol. 33, 817-833 [0007]