



(11) **EP 4 461 785 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.11.2024 Patentblatt 2024/46

(21) Anmeldenummer: **23020216.0**

(22) Anmeldetag: **11.05.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C10G 9/00 ^(2006.01) **C10G 9/36** ^(2006.01)
C10G 70/04 ^(2006.01) **F01K 23/06** ^(2006.01)
F04D 25/04 ^(2006.01) **F04D 25/06** ^(2006.01)
F25J 3/02 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C10G 70/04; C10G 9/00; C10G 9/36; F01D 15/10;
F01K 23/064; F04D 25/04; F04D 25/06;
F25J 3/0219; C10G 2400/20; F05D 2220/31;
F05D 2220/76; F05D 2260/406; F05D 2270/16

(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

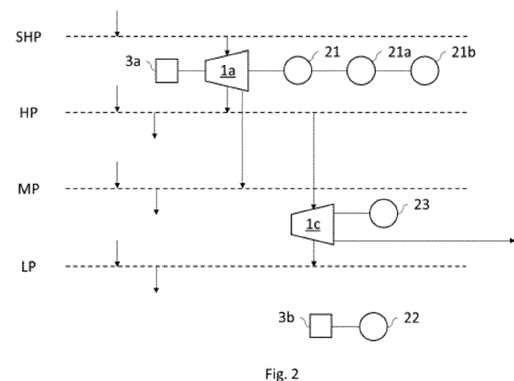
(71) Anmelder: **Linde GmbH**
82049 Pullach (DE)

(72) Erfinder:
• **Kamann, Martin**
82049 Pullach (DE)
• **Höfel, Torben**
82049 Pullach (DE)

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

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER VERFAHRENSTECHNISCHEN ANLAGE UND ANLAGE ZUR ERZEUGUNG VON OLEFINEN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer verfahrenstechnischen Anlage, durch die Olefine erzeugt werden, wobei unter Verwendung von Restwärme Dampf erzeugt wird. Die verfahrenstechnische Anlage weist dabei eine Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) auf, die zum Verdichten eines Arbeitsmediums verwendet wird, wobei die Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) mit einer Dampfturbine (1a, 1b, 1c) angetrieben wird, wobei zum Betreiben der Dampfturbine (1a, 1b, 1c) der Dampf verwendet wird, der unter Verwendung der Restwärme erzeugt wird. Die Extraktionsstufe der Dampfturbine (1a, 1b, 1c) extrahiert zumindest einen Teil des zum Betreiben der Dampfmaschine verwendeten Dampfs auf einem überatmosphärischen Druckniveau, insbesondere von mehr als oder gleich 2 bar, wobei die Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) zusätzlich mit einer elektrischen Maschine (3a, 3b, 3c) betrieben wird, welche drehmomentübertragend an die Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) und die Dampfturbine (1a, 1b, 1c) gekoppelt ist, und die Leistung der elektrischen Maschine (3a, 3b, 3c) einstellbar ist.



EP 4 461 785 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen sowie eine Anlage zum Durchführen des Verfahrens.

Hintergrund

[0002] Olefine wie Ethylen oder Propylen, aber auch Diolefine wie Butadien sowie Aromaten, können durch Dampfspalten (engl. Steam Cracking) aus Paraffinen hergestellt werden. Entsprechende Verfahren sind seit langem bekannt. Zu Details sei auf Fachliteratur wie den Artikel "Ethylene" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Onlineausgabe, 15. April 2007, DOI 10.1002/14356007.a10_045.pub2, verwiesen.

[0003] Beim Dampfspalten wird ein sogenanntes Spaltgas (engl. Cracked Gas) erhalten, das neben den Zielprodukten nicht umgesetzte Kohlenwasserstoffe und unerwünschte Nebenprodukte enthält. Dieses Spaltgas wird in bekannten Verfahren zunächst einer Aufbereitung unterworfen, bevor es einer Fraktionierung bzw. Trennung zur Gewinnung unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe bzw. Fraktionen zugeführt wird. Details sind in dem zitierten Artikel insbesondere in Abschnitt 5.3.2.1, "Front-End Section" und 5.3.2.2., "Hydrocarbon Fractionation Section", beschrieben.

[0004] Mitunter ist es erwünscht, durch Dampfspalten ethanreiche Einsätze unter Bildung möglichst geringer Mengen an Nebenprodukten zu Ethylen umzusetzen. In diesem Zusammenhang werden neben nicht umgesetztem Ethan auch beim Dampfspalten gebildete Kohlenwasserstoffe mit drei und vier Kohlenstoffatomen typischerweise wieder in den oder die verwendeten Reaktoren zurückgeführt.

[0005] Je nach Bedarf kann eine Hydrierung des gesamten Spaltgases oder bestimmter Fraktionen im Zuge der Aufbereitung erfolgen. Diese dient insbesondere der Entfernung von Acetylenen.

[0006] Ein bekanntes Verfahren des Dampfspaltens ist in Figur 1 und der zugehörigen Beschreibung der EP 3 640 231 B1 beschrieben, welche durch Bezugnahme in diese Anmeldung aufgenommen ist. Dabei wird einem Reaktor von der Anlagengrenze ein erstes Einsatzgas zugeführt. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Paraffine, insbesondere um Ethan. Ferner wird dem Reaktor ein weiteres bzw. zweites Einsatzgas zugeführt. Bei diesem zweiten Einsatzgas handelt es sich um ein aus dem Verfahren zurückgeführtes Gasgemisch, das insbesondere Ethan und Kohlenwasserstoffe mit drei und vier Kohlenstoffatomen enthält.

[0007] Alternativ zur Verwendung von Ethan (oder allgemeiner unter Normalbedingungen gasförmigen Kohlenwasserstoffen) beim sogenannten "Gascracken" kann bei sogenanntem "Flüssigcracken" auch Naphtha (oder können allgemeiner unter Normalbedingungen flüssige Kohlenwasserstoffe) als erstes Einsatzgas ver-

wendet werden. Je nach dem verwendeten Einsatz unterscheiden sich die gebildeten Spaltgase mitunter deutlich.

[0008] Beim Steamcracken oder auch bei anderen Verfahren wie der Propandehydrierung werden typischerweise alkanische Kohlenwasserstoffe bei vergleichsweise niedrigem Druck und hohen Temperaturen zu den gewünschten Produkten in Form einer komplexen Kohlenwasserstoffmischung (im Falle des Steamcrackens dem erwähnten Spaltgas) umgesetzt. Diese Kohlenwasserstoffmischung wird im Folgenden in Produktfraktionen zerlegt, meist mittels Anwendung von thermischen Trennverfahren unter erhöhtem Druck und verringerter Temperatur (d. h. Destillationen). Hierzu wird einerseits Kohlenwasserstoffmischung (ggf. nach oder im Zuge der Entfernung von Sauer gasen) verdichtet und es erfolgt andererseits die Verdichtung von Kältemitteln, die in der thermischen Trennung Anwendung finden.

[0009] Im Zuge des Hochtemperatur-Konversionsprozesses kann die eingesetzte Wärme, die zumeist in Form von Unterfeuerung erzeugt wird, nicht ausschließlich für den gewünschten Konversionsprozess genutzt werden und muss anderweitig nutzbar gemacht werden. Dies erfolgt typischerweise in Form einer Dampferzeugung, beispielsweise im Zuge der Kühlung der umgesetzten Kohlenwasserstoffmischung (Spaltgaskühlung) und/oder im Zuge der Wärmerückgewinnung in der sogenannten Konvektionszone eines Steamcrackers, wobei der erzeugte Dampf wiederum zur Erzeugung von Wellenleistung (mittels Dampfturbinen) für die o.g. Verdichtungsprozesse und/oder für Heizzwecke genutzt wird. Die Nutzung für Heizzwecke erfolgt typischerweise auf einem verringertem Dampfdruckniveau und es wird eine entsprechende Menge Dampf aus den Turbinen auf verringerten Druckniveaus bzw. bei verringerten Temperaturen extrahiert.

[0010] Die benötigte Wellenleistung ist in der Regel jedoch vergleichsweise hoch, wodurch zusätzlicher Hochdruckdampf zur Erzeugung der Wellenleistung in Dampfkesseln erzeugt und/oder in das Dampfsystem importiert werden muss. Weiterhin muss eine große Menge Dampf zur maximalen Erzeugung von Wellenleistung mittels entsprechender Dampfturbinen auf Vakuumbedingungen entspannt werden, wobei dieser Dampf anschließend nicht mehr für Heizzwecke genutzt werden kann. Außerdem wird zur Erzeugung des Dampfes unter anderem Cracker-Tailgas verwendet, welches unter Umständen größere Mengen Wasserstoff beinhaltet, dessen selektive oder anderweitige Nutzung unter Umständen sinnvoller sein kann. Bei dem Tailgas handelt es sich beispielsweise um eine in einem sogenannten Demethanizer abgetrennte Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich aus Methan und Wasserstoff bestehen kann.

[0011] Der hohe Bedarf an Wellenleistung und das Decken dieses Bedarfs allein mit Dampfturbinen erzeugt somit ein ineffizientes Energiesystem, bei dem große Mengen an Primärenergie schließlich im Zuge einer Vakuumdampf-Kondensation an die Umgebung abgege-

ben werden.

[0012] Hinzu kommt, dass die thermische Nutzung auf unterschiedlichen Druckniveaus erfolgt, so dass in der Regel mehrere Extraktionsturbinen zum Einsatz kommen müssen. Hierdurch ergeben sich gewisse Beschränkungen in den verwendbaren Antriebsmöglichkeiten.

[0013] Daher besteht Bedarf an der Verbesserung der Effizienz des Gesamtsystems, insbesondere im Hinblick auf die erwähnten Beschränkungen.

Offenbarung der Erfindung

[0014] Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung von Olefinen sowie eine entsprechende Anlage zur Durchführung des Verfahrens mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche vor. Bevorzugte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0015] Vor der Erläuterung der Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend einige bei der Beschreibung der Erfindung verwendete Begriffe näher definiert.

[0016] Die vorliegende Anmeldung verwendet zur Charakterisierung von Drücken und Temperaturen die Begriffe "Druckniveau" und "Temperaturniveau", wodurch zum Ausdruck gebracht werden soll, dass entsprechende Drücke und Temperaturen in einer entsprechenden Anlage nicht in Form exakter Druck- bzw. Temperaturwerte verwendet werden müssen. Jedoch bewegen sich derartige Drücke und Temperaturen typischerweise in bestimmten Bereichen, die beispielsweise $\pm 1\%$, 5% , 10% , 20% oder 25% um einen Mittelwert liegen. Entsprechende Druckniveaus und Temperaturniveaus können in disjunkten Bereichen liegen oder in Bereichen, die einander überlappen. Dasselbe Druckniveau kann beispielsweise auch noch vorliegen, wenn es zu unvermeidlichen Druckverlusten kommt. Entsprechendes gilt für Temperaturniveaus. Bei den hier in bar angegebenen Druckniveaus handelt es sich um Absolutdrücke.

[0017] Unter Niederdruckdampf soll hier allgemein Dampf auf einem Druckniveau von 1 bis 10 bar, insbesondere von 4 bis 8 bar, unter Mitteldruckdampf Dampf auf einem Druckniveau von 10 bis 30 bar, insbesondere von 15 bis 25 bar, unter Hochdruckdampf Dampf auf einem Druckniveau von 30 bis 60 bar, insbesondere von 35 bis 50 bar, und unter Superhochdruckdampf Dampf auf einem Druckniveau von 60 bis 175 bar, insbesondere von 80 bis 125 bar, verstanden werden.

[0018] Die vorliegende Erfindung schlägt ein Verfahren zum Betreiben einer verfahrenstechnischen Anlage vor, durch die Olefine erzeugt werden, wobei unter Verwendung von Restwärme Dampf erzeugt wird. In dem Verfahren wird eine Verdichtermaschine zum Verdichten eines Arbeitsmediums verwendet, wobei die Verdichtermaschine unter Verwendung einer Dampfturbine angetrieben wird. Dazu ist eine Welle dieser Dampfturbine

beispielweise drehmomentübertragend mit einer Welle der Verdichtermaschine verbunden.

[0019] Bei dem Arbeitsmedium, das durch die Verdichtermaschine verdichtet wird, kann es sich insbesondere um eine Produktfraktion und/oder ein Kältemittel und/oder ein anderes Arbeitsmedium handeln. Zum Betreiben der Dampfturbine wird dabei der Dampf verwendet, der unter Verwendung der Restwärme (oder auch nur eines Teils hiervon) erzeugt wird, wobei aus einer Extraktionsstufe der Dampfturbine zumindest ein Teil des zum Betreiben der Dampfturbine verwendeten Dampfs auf einem überatmosphärischen Druckniveau, insbesondere auf einem Druckniveau von mindestens 2 bar (d.h. insbesondere als Niederdruckdampf, aber nicht als Vakuumdampf) extrahiert wird.

[0020] Die Verdichtermaschine wird neben der Dampfturbine ferner unter Verwendung einer elektrischen Maschine betrieben, wobei die Leistung der elektrischen Maschine einstellbar ist. Die Welle der elektrischen Maschine ist dazu beispielsweise drehmomentübertragend an einen Strang aus Verdichtermaschine und Dampfturbine gekoppelt, um dieser zur Erzeugung der notwendigen Wellenleistung zu unterstützen bzw. bei Erzeugung überschüssiger Wellenleistung einen Teil der von der Dampfturbine erzeugten Wellenleistung in elektrische Energie umzuwandeln. Es handelt sich bei dem vorgeschlagenen Antrieb also um einen Hybridantrieb unter Verwendung der Dampfturbine und der elektrischen Maschine.

[0021] Die elektrische Maschine muss dabei nicht direkt an die Dampfturbine gekoppelt sein, sondern es kann sich um einen beliebigen mechanisch gekoppelten Strang handeln, der Verdichter, Dampfturbine und die elektrische Maschine umfasst. "Mechanisch gekoppelt" umfasst dabei, dass der Strang an einer beliebigen Stelle mit Kupplungen und/oder Getrieben diverser Bauform, zum Beispiel zur Übersetzung zwischen zwei oder mehrerer Wellen und/oder als Drehzahlregelgetriebe, ausgeführt sein kann. Die Stranganordnung kann weiterhin unterschiedlich ausfallen und beispielsweise eine "Einwellenanordnung" mit beliebiger Reihenfolge sein. Dabei kann die Dampfturbine an mehrere Verdichtergehäuse gekoppelt sein, wobei die elektrische Maschine den Verdichtergehäusen nachgeschaltet ist. Weiterhin können diverse Zwischengetriebe, wie beispielsweise ein hydraulisch oder elektrisch geregeltes Getriebe, oder einfach drehzahlregelbares Getriebe beliebiger Bauart, zwischen die elektrische Maschine und die Verdichtermaschinen zwischengeschaltet sein. In einer weiteren Stranganordnung kann ein sog. "Getriebeturbo" genutzt werden, bei dem ein Getriebe zur gleichzeitigen Übersetzung auf mehrere Wellen auf denen Verdichterstufen und die Dampfturbine angeordnet sein können, verwendet werden.

[0022] In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass, wenn hier die Rede von "einer" Verdichtermaschine im Singular die Rede ist, die unter Verwendung "einer" Dampfturbine im Singular angetrieben wird, selbstver-

ständig nicht ausgeschlossen ist, dass auch weitere Dampfturbinen entsprechend betrieben werden können, und dass der Antrieb der einen, einer von mehreren, oder mehrerer Verdichtermaschinen auch unter Verwendung mehrerer Dampfturbinen erfolgen kann. Beliebige Antriebskombinationen sind möglich. Ferner kann in dem hier vorgeschlagenen Verfahren auch wenigstens eine nicht im erläuterten Sinne hybrid angetriebene Verdichtermaschine vorgesehen sein, so dass also wenigstens eine Verdichtermaschine ausschließlich (oder im Wesentlichen, beispielsweise zu mehr als 90% ihrer Antriebsleistung) unter Verwendung einer Dampfturbine angetrieben wird.

[0023] Durch das vorgeschlagene Verfahren wird vorteilhafterweise ermöglicht, die Verdichtermaschine, die mit der Dampfturbine und der elektrischen Maschine, also hybrid, betrieben wird, bei unterschiedlichen Leistungsanforderungen, also unterschiedlichen erforderlichen Drehzahlen, zu betreiben. Insbesondere ist dies auch bei unterschiedlicher Leistungsbereitstellung durch die Dampfturbine möglich. Die elektrische Maschine ist dabei insbesondere in der Lage, die durch die Verdichtermaschine erforderliche Leistung und durch die Dampfturbine erzeugte Leistung zu bilanzieren, indem der Leistungsunterschied zwischen der von der Dampfturbine erzeugten Leistung und der von der Verdichtermaschine benötigten zu- bzw. abgeführt wird. So wird beispielsweise in einem Fall, in dem die Verdichtermaschine eine hohe Leistungsanforderung hat, aber aufgrund geringer Mengen an Dampf von der Dampfturbine nur eine geringe Leistung bereitgestellt werden kann, die verbleibende Leistung von der elektrischen Maschine zugeführt. Gleiches gilt für den gegenteiligen Fall, in dem die Verdichtermaschine lediglich eine geringe Leistungsanforderung hat, aber von der Dampfturbine eine hohe Leistung erzeugt wird. In diesem Fall kann die von der Dampfturbine erzeugte überschüssige Leistung von der elektrischen Maschine in elektrischen Strom umgewandelt werden, der entweder gespeichert oder anderen Lasten zugeführt werden kann. Allgemein ausgedrückt kann die elektrische Maschine die Leistung in allen Fällen bilanzieren, insbesondere unabhängig von der Leistung der Dampfturbine.

[0024] Dadurch kann die unterfeuerte Leistung (beispielsweise in den Dampfkesseln zur Erzeugung von weiterem Hochdruckdampf) erheblich reduziert und die Energieausnutzung aus der verbleibenden unterfeuerten Leistung gesteigert werden, da durch die elektrischen Maschinen vorzugsweise Dampfkraftprozesse in der Anlage ersetzt werden, welche den Dampf auf ein nicht nutzbares Druck- und Temperaturniveau entspannen. Solche Dampfkraftprozesse haben verfahrenstechnischen Anlagen zur Erzeugung Olefin eine Effizienz von unter 30 % (MW Wellenleistung / MW unterfeuerte Leistung). Wenn dem importierten Strombedarf zum Antreiben der elektrischen Maschine/n beispielsweise eine Erzeugungseffizienz von 37,5 % oder höher (MW elektrische Leistung / MW unterfeuerte Leistung) zugrunde ge-

legt wird, kann die Gesamtenergieeffizienz somit erheblich gesteigert werden. Weiterhin können die direkten Emissionen aufgrund der Elektrifizierung und der Effizienzsteigerung erheblich reduziert werden. Die Anwendung des Verfahrens ist dabei in Situationen, in denen Primärenergiekosten, also Kosten für den Brennstoff zur Unterfeuerung, hoch und Stromkosten vergleichsweise mäßig oder niedrig sind, besonders kostengünstig.

[0025] Insbesondere für den Fall, dass die Reduktion der Unterfeuerung zu einem Netto-Export von Cracker-Tailgas führt und dieses reich an Wasserstoff ist, könnte überwiegend die Methanfraktion exportiert werden, was zu einer überproportionalen Reduktion der direkten Kohlendioxidemissionen und damit zu einer Maximierung der Wasserstoffeffizienz führt. Umgekehrt ist es ebenso möglich, wasserstoffreiches Gas zu exportieren, falls ein Wasserstoffbedarf am Standort der verfahrenstechnischen Anlage vorliegt.

[0026] In einer Ausführungsform kann die Leistung der elektrischen Maschine, die an die Verdichtermaschine und Dampfturbine gekoppelt ist, so eingestellt werden, dass die von der Verdichtermaschine benötigte Wellenleistung zur Verfügung gestellt wird (im Sinne der bereits oben beschriebenen Leistungsbilanzierung). Dadurch wird die Effizienz des Energiesystems erhöht, da der zusätzliche Import von Hochdruckdampf zur Erzeugung von zusätzlicher Wellenleistung mittels Dampfturbine nicht mehr notwendig ist.

[0027] In einer weiteren Ausführungsform wird die elektrische Maschine dazu als Elektromotor, dem Strang aus Verdichtermaschine und Dampfturbine Leistung zugeführt, oder als Generator, der von dem Strang aus Verdichtermaschine und Dampfturbine erzeugte Leistung in elektrische Energie umwandelt, betrieben. Insbesondere kann, wenn die elektrische Maschine als Generator betrieben wird, die umgewandelte elektrische Energie zum Betreiben weiterer Verdichtermaschinen, die nicht von einer Dampfturbine betrieben werden, verwendet werden. Dabei ist es insbesondere möglich, dass die elektrische Maschine, die an den Strang aus Verdichtermaschine und Dampfturbine gekoppelt ist, dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit von der vorliegenden Situation, entweder als Elektromotor oder als Generator betrieben zu werden und zwischen den beiden Betriebsmodi zu wechseln.

[0028] Die elektrische Maschine kann somit entweder als Elektromotor zur Unterstützung der Verdichtermaschine und/oder Dampfturbine verwendet werden oder als Generator zur Erzeugung von Strom, der später im Prozess oder in einem anderen Teil des Standorts in der die verfahrenstechnische Anlage betrieben wird, verwendet werden kann. Dadurch ist das Verfahren flexibel einsetzbar und kann in einer Situation, in der durch die Dampfturbinen mehr Leistung erzeugt wird als durch die gekoppelte Verdichtermaschine verbraucht wird, Elektrizität erzeugen, die gespeichert, an einem anderen Ort am Standort genutzt oder ins allgemeine Stromnetz eingespeist verwendet werden kann.

[0029] Gemäß einer Ausführungsform wird die elektrische Maschine zur Leistungseinstellung über einen Frequenzumrichter, insbesondere einen rückspeisefähigen Frequenzumrichter, an die elektrische Energieversorgung gekoppelt.

[0030] Durch die Verwendung eines Frequenzumrichters kann der Betrieb der elektrischen Maschine flexibel an die notwendigen Betriebsbedingungen angepasst werden, wodurch das Verfahren in einer Vielzahl von Situationen eingesetzt werden kann. Dadurch wird die Effizienz des Energiesystems aus Dampfturbine und elektrischer Maschine erhöht.

[0031] Durch die Nutzung eines rückspeisefähigen Frequenzumrichters kann die elektrische Maschine in einfacher, flexibler und kostengünstiger Weise als Elektromotor und Generator betrieben werden. In Abhängigkeit wechselnder Betriebszustände von Verdichtermaschine und Dampfturbine und der entsprechenden Leistungsbilanz kann die elektrische Maschine beispielsweise insbesondere bei hohen Turbinenleistungen als Generator agieren und Elektrizität erzeugen, die gespeichert, an einem anderen Ort am Standort genutzt oder ins allgemeine Stromnetz eingespeist verwendet werden kann, wie bereits weiter oben beschreiben.

[0032] In einer weiteren Ausführungsform ist die elektrische Maschine zur Leistungseinstellung über ein Drehzahlregelgetriebe mit Überlagerungsmotor an die Verdichtermaschine/Dampfturbine gekoppelt, wobei die elektrische Maschine selbst hierbei insbesondere als Festdrehzahlmotor ausgeführt ist.

[0033] In einer weiteren Ausführungsform ist die elektrische Maschine zur Leistungseinstellung über ein hydraulisches Drehzahlregelgetriebe an die Verdichtermaschine/Dampfturbine gekoppelt, wobei die elektrische Maschine selbst hierbei insbesondere als Festdrehzahlmotor ausgeführt ist.

[0034] Durch die Verwendung einer der drei Ausführungsformen der elektrischen Maschine, Frequenzumrichter, Drehzahlregelgetriebe mit Überlagerungsmotor und Hydraulisches Drehzahlregelgetriebe, kann die Leistungseinstellung der elektrischen Maschine insbesondere nicht nur durch das Design des Motors selbst erreicht werden, sondern auch durch die weiteren Komponenten im gesamten Strang, wodurch eine flexible Anpassung der Leistung ermöglicht wird.

[0035] In einer Ausführungsform wird aus der Extraktionsstufe der Dampfturbine zumindest ein Teil des zum Betreiben der Dampfmaschine verwendeten Dampfs auf einem Druckniveau zwischen einschließlich 2 bar bis einschließlich 80 bar (Niedrigdruckdampf), insbesondere 4 bis 8 bar, oder 10 bis 30 bar (Mitteldruckdampf), insbesondere 15 bis 25 bar, 30 bis 60 bar (Hochdruckdampf), beispielsweise 35 bis 50 bar, extrahiert.

[0036] Dadurch wird ermöglicht, dass aus dem Dampfkreislauf der eine oder mehrere Dampfturbinen enthält, Dampf verschiedener Druckniveaus, insbesondere Superhochdruck, Hochdruck, Mitteldruck und/oder Niedrigdruck extrahiert werden kann. Damit ist es vorteilhafter-

weise möglich Dampf eines benötigten Dampfdruckniveaus, der an anderen Stellen des Prozesses oder in anderen verfahrenstechnischen Anlagen, die am selben Standort wie die verfahrenstechnische Anlage in der das Verfahren durchgeführt wird, bereitzustellen.

[0037] Hiermit bekommt die Dampfturbine nicht mehr primär die Aufgabe zur Erzeugung von Wellenleistung, sondern sie wird hauptsächlich zur Bereitstellung der Dampfmenge auf den jeweiligen Druckniveaus der thermischen Konsumenten verwendet, was zu den oben beschriebenen Effizienzverbesserungen beiträgt.

[0038] Gemäß einer Ausführungsform ist die Verdichtermaschine Teil eines Rohgas- oder Kältemittelverdichters oder wird als Rohgas- oder Kältemittelverdichter betrieben. Ein Rohgasverdichter ist insbesondere mehrstufig ausgebildet und verdichtet insbesondere einen wesentlichen Teil eines in dem Verfahren gebildeten Produktgemischs. Ein Kältemittelverdichter kann ebenfalls mehrstufig ausgebildet sein und Teil einer Kältemaschine oder eines Kältemittelkreislaufs sein, in der bzw. dem ein übliches Kältemittel wie bspw. Propylen oder Ethylen ("C3-Kältemittel", "C2-Kältemittel") verwendet wird.

[0039] In einer Ausführungsform sind mindestens zwei Verdichtermaschinen zur Verdichtung von Arbeitsmedien vorgesehen, wobei mindestens eine Verdichtermaschine Teil eines Rohgasverdichters ist oder als Rohgasverdichter betrieben wird und mindestens eine Verdichtermaschine Teil eines Kältemittelverdichters ist oder als Kältemittelverdichter betrieben wird.

[0040] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden Verdichtermaschinen, die nicht von einer Dampfturbine angetrieben werden, von einem Elektromotor oder jeweils einem Elektromotor angetrieben. Dabei weisen, insbesondere bei der Verwendung mehrerer Elektromotoren alle Elektromotoren eine ähnlich hohe Nennleistung und Nenndrehzahl auf, so dass standardisierte Elektromotoren und Leistungsregelungselektronik zum Einsatz kommen kann.

[0041] Dadurch lassen sich weniger Dampfturbinen in der Anlage zur Durchführung des Verfahrens vorsehen, mit denen zusätzlich durch mit diesen verbundenen elektrischen Maschinen Strom erzeugt werden kann, der für den Betrieb der weiteren Verdichtungsmaschinen verwendet werden kann.

[0042] In einer Ausführungsform wird weniger als 10% einer zu der Dampfturbine geführten Gesamtdampfmenge auf unter 2 bar entspannt und mittels eines Kondensators kondensiert.

[0043] Das Verfahren kann dadurch derart ausgelegt werden, dass ein Kondensator zum Kondensieren einer auf Umgebungs- oder Vakuumbedingungen entspannen Dampfmenge nicht vorgesehen werden muss bzw. die Größe des vorgesehenen Kondensators geringgehalten werden kann. Damit kann die verfahrenstechnische Anlage, in der das Verfahren durchgeführt wird, kostengünstig und in Hinblick auf die Energieeffizienz optimiert werden.

[0044] Wie bereits oben beschrieben wird die Dampf-

turbine in diesem Kontext hauptsächlich als Gegen-
druckturbine zur Bereitstellung der Dampfmengen auf
den jeweiligen Druckniveaus der thermischen Konsu-
menten verwendet, statt dass der Dampf auf ein nicht
nutzbares Temperaturniveau entspannt wird, was zu den
oben beschriebenen Effizienzverbesserungen beiträgt.

[0045] In einer weiteren Ausführungsform wird über
90% der zu der Dampfturbine geführten Gesamtdampf-
menge unter Verwendung der Restwärme erzeugt, so-
dass weniger als 10% einer Dampfmenge von einem Boi-
ler erzeugt werden müssen.

[0046] Das Verfahren kann dadurch vorteilhafterweise
derart ausgelegt werden, dass ein Boiler zur Bilanzierung
nicht vorgesehen werden muss bzw. die Anzahl und/oder
Größe der Boiler geringgehalten werden kann, da ledig-
lich der Dampf aus der Restwärme des Hochtemperatur-
Konversionsprozesses für Gegendruckturbinen sowie
zur thermischen Nutzung verwendet wird. Damit kann
die verfahrenstechnische Anlage, in der das Verfahren
durchgeführt wird, kostenmäßig und in Hinblick auf die
Energieeffizienz optimiert werden.

[0047] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die
Vorrichtung zur Erzeugung von Olefinen weiterhin eine
Wärmepumpe, die von einer Dampfturbine und einer mit
der Dampfturbine gekoppelten elektrischen Maschine
betrieben wird.

[0048] Dadurch lässt sich die Bilanzierung eines oder
mehrerer Dampfdruckniveaus flexibler gestalten.

[0049] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die
Vorrichtung zur Erzeugung von Olefinen weiterhin eine
Verdichtermaschine, die mit einer Gasturbine angetrie-
ben wird, wobei die Verdichtermaschine zusätzlich mit
einer elektrischen Maschine betrieben wird, welche dreh-
momentübertragend an den Strang aus Verdichter-
maschine und Gasturbine gekoppelt ist. Die Leistung der
elektrischen Maschine ist dabei einstellbar, sodass die
von der Verdichtermaschine benötigte Leistung durch
die Gasturbine und die elektrische Maschine zur Verfü-
gung gestellt wird.

[0050] Dadurch ist es möglich, die in der verfahren-
stechnischen Anlage benötigte Leistung in Form von Wel-
lenleistung und/oder Strom teilweise durch eine Gastur-
bine bereitzustellen, was die Gesamtausnutzung des
eingesetzten Brenngases weiter verbessern kann und
somit die Gesamteffizienz der verfahrenstechnischen
Anlage weiter erhöhen kann, ähnlich wie es sich bei der
Effizienz eines Gas-und-Dampf-Kombikraftwerkes im
Vergleich zu einem simplen Dampfkraftwerk verhält.

[0051] Die vorgeschlagene Anlage zur Erzeugung von
Olefinen ist dafür eingerichtet, ein Verfahren gemäß ei-
ner der vorgestellten Varianten durchzuführen. Zu wei-
teren Merkmalen und Vorteilen einer solchen Anlage und
Ausgestaltungen hiervon wird daher auf die obigen Er-
läuterungen betreffend das erfindungsgemäß vorge-
schlagene Verfahren und den Ausgestaltungen aus-
drücklich verwiesen, da diese hierfür in gleicher Weise
gelten.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0052]

5 Figur 1 zeigt ein Blockdiagramm einer nicht-erfin-
dungsgemäßen verfahrenstechnischen Anlage zur
Erzeugung von Olefinen;

10 Figuren 2 zeigt ein Blockdiagramm einer verfahren-
stechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen die
zur Durchführung einer Ausführungsform des erfin-
dungsgemäßen Verfahrens ausgelegt sind und ei-
nen teilelektrifizierten Strang aus Verdichter, Dampf-
turbine und Elektromotor sowie eine vollelektrifizier-
te Verdichtermaschine aufweist;

15 Figur 3 zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren ver-
fahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Ole-
finen die zur Durchführung einer Ausführungsform
des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist
und zwei teilelektrifizierte Stränge aus Verdichter,
Dampfturbine und Elektromotor sowie eine vollelek-
trifizierte Verdichtermaschine aufweist;

20 Figur 4 zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren ver-
fahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Ole-
finen die zur Durchführung einer Ausführungsform
des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist
und zwei teilelektrifizierte Stränge aus Verdichter,
Dampfturbine und Elektromotor sowie eine vollelek-
trifizierte Verdichtermaschine aufweist;

25 Figur 5 zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren ver-
fahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Ole-
finen die zur Durchführung einer Ausführungsform
des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist
und einen teilelektrifizierten Strang aus Verdichter,
Dampfturbine und Elektromotor sowie zwei vollelek-
trifizierte Verdichtermaschinen aufweist;

30 Figur 6 zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren ver-
fahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Ole-
finen die zur Durchführung einer Ausführungsform
des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist
und einen teilelektrifizierten Strang aus Verdichter,
Dampfturbine und Elektromotor, einen teilelektrifi-
zierten Strang aus Wärmepumpe, Dampfturbine und
Elektromotor sowie zwei vollelektrifizierte Verdich-
termaschinen aufweist;

35 Figur 7a zeigt ein Blockdiagramm einer nicht-erfin-
dungsgemäßen verfahrenstechnischen Anlage zur
Erzeugung von Olefinen bei der nur der Superhoch-
druckstufe Dampf zugeführt wird; und

40 Figur 7b zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren ver-
fahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Ole-
finen die zur Durchführung einer Ausführungsform

des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist, bei der nur der Superhochdruckstufe Dampf zugeführt wird und die einen teilelektrifizierten Strang aus Verdichter, Dampfturbine und Elektromotor sowie zwei vollelektrifizierte Verdichtermaschinen aufweist.

Ausführungsformen der Erfindung

[0053] Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen werden 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.

[0054] Unterschiedliche Ausführungsformen der Erfindung können weitere zweckmäßige Kombinationen der beschriebenen Elemente, Komponenten, Merkmale, Teile, Schritte, Mittel usw. umfassen, 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.

[0055] 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.

[0056] Weiterhin sind die folgenden angegebenen Dampfmenngen und Leistungen nur als Beispiele zu verstehen die nicht einschränkend wirken sollen, sondern lediglich dem Verständnis dienen.

[0057] In Figur 1 ist ein Blockdiagramm eines Dampfsystems einer nicht-erfindungsgemäßen verfahrenstechnischen Anlage, insbesondere eines Flüssigcrackers, zur Erzeugung von Olefinen gezeigt. Diese verfügt über vier Haupt-Dampfdruckstufen: eine Superhochdruck- (engl.: Super High Pressure, SHP), eine Hochdruck- (engl.: High Pressure, HP), eine Mitteldruck- (engl.: Medium Pressure, MP) und eine Niederdruckstufe (engl.: Low

Pressure, LP).

[0058] Der Hochtemperatur-Prozess zur Erzeugung der Olefine erzeugt dabei 620 t/h Superhochdruckdampf, welcher der Superhochdruckstufe SHP des Dampfsystems zugeführt wird. Auf den weiteren Druckstufen (HP, MP und LP) erfolgt jeweils ein Verbrauch und/oder eine Zuführung von Dampf aufgrund anderer Prozesse, wie z.B. Betrieb von kleinen Gegendruckturbinen, thermischem Verbrauch und/oder Im-/Export von Dampf von/zu anderen Teilen der verfahrenstechnischen Anlagen oder anderen verfahrenstechnischen Anlagen die am gleichen Standort betrieben werden.

[0059] Drei Verdichtermaschinen 21, 22, 23, die insbesondere Teil einer Kältemaschine und/oder Rohgasmaschine sein können um Produktfraktionen und/oder Kältemitteln und/oder anderen Arbeitsmedien zu verdichten, werden jeweils mit einer Dampfturbine 1a, 1b, 1c, welche im gezeigten Fall Extraktionsturbinen sind, angetrieben, wobei durch die Dampfturbinen 1a, 1b, 1c Dampf mindestens zum Teil auf einem Druckniveau zwischen 2 bar und 80 bar a extrahiert wird. Die Verdichtermaschinen 21, 22, 23 sind dabei insbesondere unterschiedlich groß bzw. weisen unterschiedliche Leistungsanforderungen auf. Dabei wird die erste Verdichtermaschine 21, welche den größten Leistungsbedarf aufweist (65 MWj, von der ersten Dampfturbine 1a, die Superhochdruckdampf zur Erzeugung von Wellenleistung verwendet, betrieben, während die zweite bzw. dritte Verdichtermaschine 22, 23, die einen geringeren Leistungsbedarf aufweisen (22 MW bzw. 36 MWj, von der zweiten bzw. dritten Dampfturbinen 1b, 1c betrieben, die Hochdruckdampf zur Wellenleistungserzeugung verwenden. Die drei Dampfturbinen 1a, 1b, 1c regeln gleichzeitig die Massenbilanz des Superhochdruckdampfs, Mitteldruckdampfs und Niederdruckdampfs. Die Massenbilanz der Hochdruckstufe wird über den Import von Hochdruckdampf aus einem Hochdruck-Boiler (nicht gezeigt) geregelt.

[0060] Aufgrund des hohen Bedarfs an Wellenleistung entspannen die Dampfturbinen zusätzlich Dampf auf Vakuumbedingungen. Der Energiebedarf zur Erzeugung der benötigten Wellenleistung der Verdichtermaschinen 21, 22, 23 wird damit vollständig gedeckt, sodass die Energiebilanz ausgeglichen ist.

[0061] Insbesondere werden von der ersten Dampfturbine 1a 128 t/h Dampf auf Vakuumbedingungen entspannt und aus dieser extrahiert. Die verbleibende Menge an der ersten Dampfturbine 1a zugeführtem Superhochdruckdampf (492 t/h) wird zu Hochdruckdampf entspannt und der Hochdruckstufe HP zugeführt. Dabei erzeugt die erste Dampfturbine 1a eine Leistung von 65 MW mit der die erste Verdichtermaschine 21 angetrieben wird und bilanziert die Superhochdruckstufe SHP, indem dieser 620 t/h Dampf entnommen werden.

[0062] Der Hochdruckstufe HP werden weiterhin 237 t/h Dampf aus einem Hochdruckboiler (nicht gezeigt) zugeführt mit der die Hochdruckstufe HP bilanziert wird. Weiterhin werden 350 t/h Dampf aus der Hochdruckstufe

HP abgeführt.

[0063] Die zweite Dampfturbine 1b erzeugt aus 159 t/h Hochdruckdampf eine Leistung von 22 MW mit der die zweite Verdichtermaschine 22 angetrieben wird. Dazu werden 79 t/h Dampf auf Vakuumbedingungen entspannt und extrahiert. Die verbleibenden 80 t/h werden als Mitteldruckdampf der Mitteldruckstufe MP zu deren Bilanzierung zugeführt. In die Mitteldruckstufe MP werden weiterhin 140 t/h Dampf importiert und aus der Mitteldruckstufe MP 220 t/h Dampf exportiert.

[0064] Die dritte Dampfturbine 1c verwendet die verbleibende Menge an Hochdruckdampf (220 t/h) um 36 MW Leistung für den Betrieb der dritten Verdichtermaschine 23 zu erzeugen. Dazu werden 120 t/h Dampf auf Vakuumbedingungen entspannt und extrahiert und 100 t/h Niederdruckdampf der Niederdruckstufe LP zugeführt um diese zu bilanzieren. Der Niederdruckstufe LP werden zusätzlich 200 t/h Dampf zugeführt und aus dieser insgesamt 300 t/h Dampf abgeführt.

[0065] Der Gesamtprozess (einschließlich der Prozessseite, in den Figuren nicht im Detail gezeigt) hat dabei einen Energiebedarf von ca. 21,11 GJ/t Ethylen und Propylen.

[0066] Figur 2 zeigt ein Blockdiagramm einer verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen die zur Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt sind und einen teilelektrifizierten Strang aus Verdichtermaschinen 21, 21a, 21b, Dampfturbine 1a und Elektromotor 3a sowie eine vollelektrifizierte Verdichtermaschine 22 aufweist. Während in den folgenden Figuren die Stränge aus Verdichtermaschine und Dampfturbine mit nur einer Verdichtermaschine gezeigt sind, ist es grundsätzlich möglich, dass die Stränge mehrere nacheinander, wie im gezeigten Strang der Figur 2, oder parallel geschaltete Verdichtermaschinen 21, 21a, 21b aufweisen. Weiterhin ist die Anordnung des Elektromotors 3a an die Dampfturbine 1a nicht einschränkend zu sehen. Der Elektromotor kann im Strang aus Dampfturbine 1a und Verdichtermaschinen 21, 21a, 21b an die Verdichtermaschine 21b gekoppelt werden. Außerdem ist die Anordnung von Verdichtermaschinen 21, 21a, 21b und Dampfturbine 1a nicht fest vorgegeben, sondern kann in beliebiger Reihenfolge erfolgen. Weiterhin ist es möglich, dass zwischen den verschiedenen Elementen eines Strangs weiterhin Zwischengetriebe angeordnet sind. Des Weiteren ist insbesondere zu beachten, dass bei der Verbindung des Elektromotors 3a an den Strang ein Getriebe, beispielsweise ein hydraulisches Getriebe oder ein Getriebe beliebiger anderer Bauart, zwischengeschaltet werden kann, mit dem die Leistung des Elektromotors 3a eingestellt werden kann. Dabei kann insbesondere auch mehr als ein Elektromotor 3a mit dem Strang aus Dampfturbine 1a und Verdichtermaschinen 21, 21a, 21b gekoppelt werden. Weiterhin ist es möglich, dass an dem Stromanschluss des Elektromotors 3a ein Frequenzumrichter vorhanden ist, sodass die Leistung des Elektromotors 3a über den Frequenzumrichter einstellbar ist und der

Motor auch als Generator betrieben werden kann. Gleiche Bezugszeichen beziehen sich auf gleiche Bauteile und für weitere Details wird auf die obere Beschreibung verwiesen wird.

[0067] In der gezeigten Ausführungsform wird die zweite Verdichtermaschine 22 mit einer zweiten elektrischen Maschine 3b vollständig elektrisch betrieben. Die zum Betrieb notwendige Leistung (22 MW) werden dazu der zweiten elektrischen Maschine 3b von extern zugeführt. Durch den Betrieb einer der zweiten Verdichtermaschinen 22 vollelektrisch wird die zweite Dampfturbine 1b zwischen der Hochdruckstufe HP und der Mitteldruckstufe MP nicht mehr eingesetzt, wodurch die Möglichkeit zur Bilanzierung der Mitteldruckstufe MP mittels der zweiten Dampfturbine 1b entfällt.

[0068] Zur Kompensation der entfallenen Bilanzierung der Mitteldruckstufe MP wird die erste Verdichtermaschine 1a mit der Dampfturbine 1a betrieben, die als Gegen-dampfturbine ausgeführt ist und mit einer drehzahlregelten ersten elektrischen Maschine 3a gekoppelt ist, wodurch die die Regelung zweier Dampfdruckstufen, der Superhochdruckstufe SHP und der Mitteldruckstufe MP, erreicht werden kann. Durch die erste elektrische Maschine 3a wird weiterhin die Leistungsbilanz der ersten Verdichtermaschine 21 geschlossen. Die erste elektrische Maschine 3a hat dabei eine ähnliche Leistung wie die zweite elektrische Maschine 3b, die zum Antreiben der zweiten Verdichtermaschinen 22 verwendet wird.

[0069] In der gezeigten Ausführungsform werden der Superhochdruckstufe SHP dabei 620 t/h Dampf zugeführt aus denen die erste Dampfturbine 41 MW Leistung erzeugt mit denen die erste Verdichtermaschine 21 betrieben wird. Da diese einen Leistungsbedarf von 65 MW hat, erzeugt in dieser Ausführungsform die erste elektrische Maschine 3a eine Leistung von 24 MW. Dabei führt die erste Dampfturbine der Hochdruckstufe HP 540 t/h Hochdruckdampf und der Mitteldruckstufe 80 t/h Mitteldruckdampf zu. Der Verbrauch an Hochdruckdampf für externe Prozesse beträgt weiterhin 350 t/h und für den Betrieb der dritten Dampfturbine 1c werden 221 t/h benötigt, sodass der Hochdruckstufe von einem externen Hochdruckdampfboiler 31 t/h Hochdruckdampf zugeführt werden müssen.

[0070] Die für den Betrieb der nicht-elektrisch betriebenen dritten Verdichtermaschine 23 notwendige Leistung (36 MW) wird von der dritten Dampfturbine 1c durch entspannen von Hochdruckdampf (221 t/h) aus der Hochdruckstufe HP auf Vakuumbedingungen (121 t/h) und erzeugen von Niederdruckdampf (100 t/h), der der Niederdruckstufe LP zugeführt wird, gedeckt.

[0071] Im Vergleich zu bisherigen Prozessen (siehe Figur 1) sinkt der Bedarf an Hochdruckdampf um 206 t/h. Gleichzeitig wird auch die Menge an auf Vakuumbedingungen entspannten Dampf von 327 t/h auf 121 t/h reduziert und der Energiebedarf sinkt auf 20,36 GJ/t Ethylen und Propylen. Hierbei wurde ein Effizienzfaktor von 37,5 % für die zusätzlich benötigte importierte elektrische Energie angenommen. Trotz der zusätzlich benötigten

elektrischen Energie verbessert sich die Gesamtenergieeffizienz der verfahrenstechnischen Anlage im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen aufgrund der eingesparten thermischen Leistung, und es werden nur noch 96,4 % der Energie des herkömmlichen Prozesses benötigt.

[0072] Als Alternative zur beschriebenen Ausführungsform kann anstelle der zweiten Verdichtermaschine 22 auch die dritte Verdichtermaschine 23 vollelektrisch betrieben werden. Zusätzlich kann das Design des Hochtemperaturprozesses optimiert werden, so dass dieser weniger Superhochdruckdampf erzeugt (580 t/h), um noch mehr thermische Energie einzusparen.

[0073] In dieser Ausführungsform entspannt die dritte Dampfturbine 1c 59 t/h Dampf auf Vakuumbedingungen um die für den Betrieb der zweiten Verdichtermaschine notwendigen Leistung von 22 MW bereitzustellen. Weiterhin wird zum Betrieb der ersten Verdichtermaschine 21 von der ersten elektrischen Maschine 3a eine Leistung von 26 MW bereitgestellt, da die erste Dampfturbine 1a aufgrund der geringeren Menge an Superhochdruckdampf nur noch 39 MW Leistung erzeugt. Da allerdings auch der Dampfbedarf der dritten Dampfturbine 1c sinkt, muss der Hochdruckstufe HP vom Hochdruckboiler nur 9 t/h Hochdruckdampf zugeführt werden.

[0074] Dadurch sinkt in dieser Ausführungsform die Menge an vom Hochdruckboiler erzeugten Hochdruckdampf um weitere 22 t/h, während die Menge an auf Vakuumbedingungen entspannte Dampf um weitere 62 t/h reduziert wird. Der Energiebedarf beträgt in dieser Ausführungsform 20,21 GJ/t Ethylen und Propylen. Dadurch wird die Gesamtenergieeffizienz der verfahrenstechnischen Anlage im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen weiter erhöht, da nur noch 95,7 % der Energie des herkömmlichen Prozesses (Figur 1) benötigt werden.

[0075] Figur 3 zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen die zur Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist und zwei teilelektrifizierte Stränge aus Verdichtermaschine 21, 23, Dampfturbine 1a, 1b und Elektromotor 3a, 3c sowie eine vollelektrifizierte Verdichtermaschine 22 aufweist. Gleiche Bezugszeichen beziehen sich auf gleiche Bauteile und für weitere Details wird auf die obere Beschreibung verwiesen wird.

[0076] Im Unterschied zu der in Figur 2 gezeigten Ausführungsform wird anstelle der zweiten Dampfturbine 1b die dritte Dampfturbine 1c durch die zweite elektrische Maschine 3b ersetzt, wobei die zweite Dampfturbine 1b die Leistung für die dritte Verdichtermaschine 23 bereitstellt, während die zweite Verdichtermaschine 22 vollelektrifiziert ist, d.h. von der zweiten elektrischen Maschine 3b angetrieben wird. Alternative wäre wiederum ein Betrieb der dritten Verdichtermaschine 23 vollelektrisch durch die zweite elektrische Maschine denkbar. Weiterhin ist die zweite Dampfturbine 22 als Extraktionsturbine ausgeführt und mit einer dritten elektrischen Maschine 3c gekoppelt, die die Leistungsbilanz der dritten Verdich-

termaschine 23 ausgleicht. Die Regelfreiheitsgrade der Druckstufen werden damit durch die erste und dritte elektrischen Maschinen 3a, 3c, die insbesondere als drehzahlgesteuerte Elektromotoren ausgeführt sind, kompensiert, wodurch die erste und zweite Dampfturbine 1a, 1b jeweils zwei Dampfdruckstufen bilanzieren können. Die elektrischen Maschinen 3a, 3b, 3c haben dabei alle einen ähnlichen Leistungsbedarf (22 MW, 21 MW, 22 MW).

[0077] Die erste Dampfturbine 1a ist als Gegendruckturbine ausgestaltet, führt allerdings nicht wie in Figur 2 der Hochdruckstufe HP und der Mitteldruckstufe MP Dampf zu, sondern der Hochdruckstufe HP und der Niederdruckstufe LP. Dazu entnimmt die erste Dampfturbine 1a der Superhochdruckstufe SHP 580 t/h Dampf und führt der Hochdruckstufe HP 480 t/h und der Niederdruckstufe LP 100 t/h Dampf zu. Dadurch erzeugt die erste Dampfturbine 43 MW Leistung, durch die, zusammen mit den von der ersten elektrischen Maschine 3a erzeugten 22 MW, die erste Verdichtermaschine 21 betrieben wird.

[0078] Die zweite Dampfturbine 1b liefert 15 MW für den Betrieb der dritten Verdichtermaschine 23, während die verbliebenen 21 MW durch die dritte elektrische Maschine 3c bereitgestellt werden. Dabei entspannt und extrahiert die zweite Dampfturbine 50 t/h Dampf auf Vakuumbedingungen und führt der Mitteldruckstufe MP 80 t/h Mitteldruckdampf zu.

[0079] Dadurch kann zum einen erreicht werden, dass der Hochdruckstufe HP kein Dampf mehr aus einem Hochdruckboiler zugeführt werden muss und zum anderen der Export von Dampf auf Vakuumbedingungen verringert wird. Der Energiebedarf sinkt dadurch auf 20,18 GJ/t Ethylen und Propylen. Dadurch die Gesamtenergieeffizienz der verfahrenstechnischen Anlage im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen weiter verbessert, da nur noch 95,6 % der Energie des herkömmlichen Prozesses benötigt werden.

[0080] Figur 4 zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen die zur Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist und zwei teilelektrifizierte Stränge aus Verdichtermaschine 21, 23, Dampfturbine 1a, 1b und Elektromotor 3a, 3c sowie eine vollelektrifizierte Verdichtermaschine 22 aufweist. Gleiche Bezugszeichen beziehen sich auf gleiche Bauteile und für weitere Details wird auf die obere Beschreibung verwiesen wird.

[0081] Im Unterschied zu der in Figur 3 gezeigten Ausführungsform bilanziert die erste Dampfturbine 1a nicht die Hochdruckstufe HP und die Niederdruckstufe LP, sondern die Hochdruckstufe HP und die Mitteldruckstufe MP, während die zweite Dampfturbine 1b die Niederdruckstufe LP bilanziert. Weiterhin wird die Superhochdruckstufe SHP nicht durch die erste Dampfturbine 1a bilanziert, sondern über den Hochtemperaturprozess oder einen zugeschalteten Superhochdruckboiler.

[0082] Dabei werden der Superhochdruckstufe SHP

530 t/h Dampf zugeführt, aus denen die erste Dampfturbine 1a, die als Gegendruckturbine ausgeführt ist, 36 MW Leistung erzeugt. Die erste elektrische Maschine 3a liefert zusätzlich 29 MW Leistung, sodass der Energiebedarf der ersten Verdichtermaschine 1a (65 MW) gedeckt ist. Dabei führt die erste Dampfturbine 1a der Hochdruckstufe HP 450 t/h Hochdruckdampf und der Mitteldruckstufe MP 80 t/h Mitteldruckdampf zu. Eine Entspannung von Dampf auf Vakuumbedingungen findet nicht statt.

[0083] Die zweite Dampfturbine 1b, die ebenso als Gegendruckturbine ausgeführt ist, erzeugt aus 100 t/h Hochdruckdampf, die der Hochdruckstufe HP entnommen werden, 9 MW Leistung, die zusammen mit den durch die dritte elektrische Maschine 3c bereitgestellten 27 MW den Leistungsbedarf der dritten Verdichtermaschine 23 (36 MW) decken. Die zweite Dampfturbine 1b führt dabei zur Bilanzierung der Niederdruckstufe LP 100 t/h Niederdruckdampf zu.

[0084] Der Leistungsbedarf der zweite Verdichtermaschine 22 (22 MW) wird vollständig durch die zweite elektrische Maschine 3b gedeckt.

[0085] Die verbleibenden 350 t/h Hochdruckdampf werden aus der Hochdruckstufe HP, die verbleibenden 220 t/h Mitteldruckdampf aus der Mitteldruckstufe MP und die 300 t/h Niederdruckdampf werden aus der Niederdruckstufe LP werden zur weiteren Verwendung aus der jeweiligen Druckstufe entnommen.

[0086] Dadurch kann zum einen erreicht werden, dass der Hochdruckstufe HP kein Dampf mehr aus einem Hochdruckboiler zugeführt werden muss und zum anderen kein Export von Dampf auf Vakuumbedingungen mehr stattfindet. Der Energiebedarf sinkt dadurch auf 20,10 GJ/t Ethylen und Propylen. Dadurch steigt die Gesamtenergieeffizienz der verfahrenstechnischen Anlage im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen weiter, da nur noch 95,2 % der Energie des herkömmlichen Prozesses benötigt werden.

[0087] Figur 5 zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen die zur Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist und eine teilelektrifizierten Strang aus Verdichtermaschine 21, Dampfturbine 1a und Elektromotor 3a sowie zwei vollelektrifizierte Verdichtermaschinen 22, 23 aufweist. Gleiche Bezugszeichen beziehen sich auf gleiche Bauteile und für weitere Details wird auf die obere Beschreibung verwiesen wird.

[0088] Die erste Dampfturbine 1a ist als Extraktions-turbine ausgestaltet und regelt bzw. bilanziert alle vier Druckstufen unter Zuhilfenahme der ersten elektrischen Maschine 3a. Der Hochtemperaturprozess führt dabei der Superhochdruckstufe SHP 620 t/h Superhochdruckdampf zu, die von der ersten Dampfturbine 1a entnommen werden. Daraus erzeugt die erste Dampfturbine 1a 69 MW Wellenleistung, von denen 65 MW zum Betreiben der ersten Verdichtermaschine 21 verwendet werden und 4 MW von der ersten elektrischen Maschine 3a in elektrische Energie umgewandelt werden. Dabei ent-

spannt die erste Dampfturbine 90 t/h Dampf auf Vakuumbedingungen. Weiterhin führt die erste Dampfturbine 1a der Hochdruckstufe HP 350 t/h Hochdruckdampf zu, wodurch die Hochdruckstufe HP bilanziert wird und kein Hochdruckboiler notwendig ist.

[0089] Der Mitteldruckstufe MP werden durch die erste Dampfturbine 1a 80 t/h Mitteldruckdampf zugeführt, die zusammen mit den 140 t/h Dampf, die der Mitteldruckstufe MP zugeführt werden, zur weiteren Verwendung aus der Mitteldruckstufe MP entnommen werden.

[0090] Der Niederdruckstufe LP werden durch die erste Dampfturbine 1a 100 t/h Niederdruckdampf zugeführt, die zusammen mit den 200 t/h Dampf, die der Niederdruckstufe LP zugeführt werden, zur weiteren Verwendung aus der Niederdruckstufe LP entnommen werden.

[0091] Die zweite und dritte Verdichtermaschine 22, 23 werden vollelektrisch von der zweiten und dritten elektrischen Maschine 3b, 3c betrieben.

[0092] Dadurch kann zum einen erreicht werden, dass der Hochdruckstufe HP kein Dampf mehr aus einem Hochdruckboiler zugeführt werden muss und zum anderen der Export von Dampf auf Vakuumbedingungen verringert werden. Der Energiebedarf sinkt dadurch auf 20,31 GJ/t Ethylen und Propylen. Dadurch steigt die Gesamtenergieeffizienz der verfahrenstechnischen Anlage im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen, da nur noch 96,2 % der Energie des herkömmlichen Prozesses benötigt werden.

[0093] Figur 6 zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen die zur Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist und einen teilelektrifizierten Strang aus Verdichtermaschine 21, Dampfturbine 1a und Elektromotor 3a, einen teilelektrifizierten Strang aus Wärmepumpe 4, Dampfturbine 1b und Elektromotor 3d sowie zwei vollelektrifizierte Verdichtermaschinen 21, 22 aufweist. Gleiche Bezugszeichen beziehen sich auf gleiche Bauteile und für weitere Details wird auf die obere Beschreibung verwiesen wird.

[0094] Die erste und zweite Dampfturbine 1a, 1b sind in dieser Ausführungsform als Gegendruckturbinen ausgestaltet, wobei die erste Dampfturbine 1a die Superhochdruckstufe SHP und die Mitteldruckstufe MP bilanziert, die zweite Dampfturbine 1b die Hochdruckdampfstufe HP bilanziert und die Wärmepumpe 4, die mit der zweiten Dampfturbine 1b gekoppelt ist, die Niederdruckstufe LP bilanziert.

[0095] Im Folgenden werden zwei Prozessabläufe beschrieben, bei denen der Superhochdruckstufe SHP werden aus dem Hochtemperaturprozess verschiedenen Mengen an Superhochdruckdampf zugeführt werden. Der Hochtemperaturprozess liefert dabei 500 t/h bzw. 460 t/h Superhochdruckdampf.

[0096] Die erste Dampfturbine 1a bilanziert die Superhochdruckstufe SHP indem sie dieser die gesamte Menge an Superhochdruckdampf entnimmt und damit 34 MW bzw. 31 MW Leistung erzeugt. Um den Leistungsbedarf der ersten Verdichtermaschine 21 bereitzustellen, liefert

die erste, mit der ersten Dampfturbine 1a gekoppelte, elektrische Maschine 3a 31 MW bzw. 34 MW Leistung. Die erste Dampfturbine 1a bilanziert weiterhin die Mitteldruckstufe MP, indem dieser in beiden Fällen 80 t/h Mitteldruckdampf zugeführt, der zusammen mit den 140 t/h Dampf, der der Mitteldruckstufe MP zugeführt wird, für die Verwendung in weiteren Prozessen entnommen wird. Weiterhin führt die erste Dampfturbine 1a der Hochdruckdampfstufe HP 420 t/h bzw. 380 t/h Hochdruckdampf zu, aus der wiederum 350 t/h Hochdruckdampf zur weiteren Verwendung entnommen werden.

[0097] Die zweite Dampfturbine 1b bilanziert die Hochdruckstufe HP, indem diese die verbleibenden 70 t/h bzw. 30 t/h Hochdruckdampf entnimmt um damit 6 MW bzw. 3 MW Leistung zu erzeugen, die der Wärmepumpe 4 zugeführt werden, die eine Leistungszahl von 3 hat, das heißt aus 1 MW zugeführter Leistung werden 3 MW Wärmeleistung erzeugt.

[0098] Die zweite Dampfturbine 1b führt weiterhin 70 t/h bzw. 30 t/h Niedrigdruckdampf der Niedrigdruckstufe LP zu, der weiterhin 200 t/h Niedrigdruckdampf zugeführt werden und 300 t/h Niedrigdruckdampf zur weiteren Verwendung entnommen werden. Um die Niedrigdruckstufe LP zu bilanzieren, erzeugt die Wärmepumpe 4 die verbleibenden 30 t/h bzw. 70 t/h Niedrigdruckdampf. Dazu verwendet die Wärmepumpe 4 im ersten Fall die von der zweiten Dampfturbine 1b zugeführten 6 MW an elektrischer Leistung und weitere, von extern zugeführte, 18 MW. Im zweiten Fall verwendet die Wärmepumpe 4 die von der zweiten Dampfturbine 1b zugeführten 3 MW elektrische Leistung, sowie 12 MW Leistung, die von einer vierten elektrischen Maschine 3d, die mit der zweiten Dampfturbine 1b gekoppelt ist, und 45 MW Leistung, die der Wärmepumpe 4 von extern zugeführt werden.

[0099] Dadurch kann zum einen erreicht werden, dass der Hochdruckstufe HP kein Dampf mehr aus einem Hochdruckboiler zugeführt werden muss und zum anderen auch kein Export von Dampf auf Vakuumbedingungen stattfindet, wobei die Bilanzierung der notwendigen Leistung und des Dampfes im System durch die elektrischen Maschinen 3a, 3b, 3c, 3d und die Wärmepumpe 4 erreicht wird. Der Energiebedarf sinkt dadurch auf 20,12 GJ/t Ethylen und Propylen bzw. 20,18 GJ/t Ethylen und Propylen. Dadurch steigt die Gesamtenergieeffizienz der verfahrenstechnischen Anlage im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen, da nur noch 95,3 % bzw. 95,6 % der Energie des herkömmlichen Prozesses benötigt werden.

[0100] Figur 7a zeigt ein Blockdiagramm einer nicht-erfindungsgemäßen verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen bei der nur der Superhochdruckstufe Dampf zugeführt wird (620 t/h). Den weiteren Druckstufen werden in diesem Fall kein Dampf von extern zugeführt. Gleiche Bezugszeichen beziehen sich auf gleiche Bauteile und für weitere Details wird auf die obere Beschreibung verwiesen wird.

[0101] Zur Bilanzierung der Superhochdruckstufe SHP wird dabei durch einen Export von Superhochdruck-

dampf erreicht, der im gezeigten Fall beispielsweise 88 t/h beträgt. Die verbleibenden 532 t/h Superhochdruckdampf werden von der ersten Dampfturbine 1a zur Erzeugung von 65 MW Leistung verwendet, mit der die erste Verdichtermaschine 1a betrieben wird. Dabei werden 152 t/h Dampf auf Vakuumbedingungen entspannt und extrahiert und der Hochdruckstufe HP zur Bilanzierung 380 t/h Hochdruckdampf zugeführt.

[0102] Aus der Hochdruckstufe HP werden 20 t/h Dampf für externe Prozesse entnommen und 309 t/h der zweiten Dampfturbine 1b zugeführt. Die zweite Dampfturbine 1b entspannt dabei 139 t/h Dampf auf Vakuumbedingungen und erzeugt dabei 40 MW Wellenleistung, die zum Betreiben der zweiten Verdichtermaschine 22 verwendet werden. Weiterhin führt die zweite Dampfturbine 1b der Mitteldruckstufe MP 170 t/h Mitteldruckdampf zu, die die Mitteldruckstufe MP bilanzieren, die zur weiteren Verwendung entnommen werden.

[0103] Die verbleibenden 51 t/h Hochdruckdampf werden aus der Hochdruckstufe HP der dritten Dampfturbine 1c zugeführt, die 26 t/h Dampf auf Vakuumbedingungen entspannt und extrahiert. Dabei werden 8 MW Leistung erzeugt, die zum Betrieb der dritten Verdichtermaschine 23 verwendet werden. Weiterhin führt die dritte Dampfturbine 1c der Niedrigdruckstufe 25 t/h Niedrigdruckdampf zu, der wiederum externen Prozessen zur Verfügung gestellt wird.

[0104] Der Prozess weist dabei einen Energiebedarf von 17 GJ/t Ethylen auf (einschließlich der Prozessseite, in den Figuren nicht im Detail gezeigt).

[0105] Figur 7b zeigt ein Blockdiagramm einer weiteren verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen die zur Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens bei der nur der Superhochdruckstufe Dampf zugeführt wird und ein teilelektrifizierter Strang aus Verdichtermaschine 22, Dampfturbine 1a und Elektromotor 3a sowie zwei vollelektrifizierte Verdichtermaschinen 22, 23 aufweist. Gleiche Bezugszeichen beziehen sich auf gleiche Bauteile und für weitere Details wird auf die obere Beschreibung verwiesen wird.

[0106] Im Gegensatz zu herkömmlichen verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen, wie beispielsweise zu Figur 7a beschrieben, weist die in Figur 7b gezeigte verfahrenstechnische Anlage nur eine erste Dampfturbine 1a auf, die mit einer ersten elektrischen Maschine 3a gekoppelt ist und die erste Verdichtermaschine 21 antreibt, während die die zweite und dritte Verdichtermaschine 22, 23 von einer zweiten bzw. dritten elektrischen Maschine 3b, 3c angetrieben wird. Die erste Dampfturbine 1a ist dabei weiterhin mit der ersten elektrischen Maschine 3a drehmomentübertragend gekoppelt.

[0107] Der Superhochdruckstufe SHP werden wiederum 620 t/h Dampf auf Superhochdruckdampf aus dem Hochtemperaturprozess zugeführt. Die erste Dampfturbine 1a entnimmt der Superhochdruckstufe SHP 195 t/h Dampf und erzeugt daraus 22 MW elektrische Leistung,

die zusammen mit dem von der ersten elektrischen Maschine 3a erzeugten 43 MW für den Betrieb der ersten Verdichtermaschine 21 genutzt werden. Dabei führt die erste Dampfturbine der Mitteldruckstufe MP 170 t/h Mitteldruckdampf und der Niederdruckstufe LP 25 t/h Niederdruckdampf zu, der aus beiden Stufen zur weiteren Verwendung entnommen wird. Somit bilanziert die erste Dampfturbine 1a die Mitteldruckstufe MP und die Niederdruckstufe LP.

[0108] Die Hochdruckstufe HP hat einen geringen Dampfbedarf, der durch Entspannung von Superhochdruckdampf gedeckt werden kann. Zur Bilanzierung der Superhochdruckstufe wird die verbleibende Menge an Superhochdruckdampf exportiert.

[0109] Der Energiebedarf der verfahrenstechnischen Anlage liegt dabei bei 15,4 GJ/t Ethylen und beträgt daher 90,8 % des Energiebedarfs herkömmlicher Anlagen. Weiterhin findet auch kein Export von Dampf auf Vakuumbedingungen statt.

[0110] Eine hybride Ausgestaltung kann auch zusätzlich mittels Verwendung einer Gasturbine erfolgen (nicht in den Beispielen gezeigt). Beispielsweise wird eine große Gasturbine mit einem Generator und dem Propylen-Verdichter gekoppelt. Der erzeugte Strom kann dann beispielsweise für den Elektroantrieb mindestens einer weiteren Maschine (einschließlich des Elektromotor-Dampfturbinen-Hybrides) verwendet werden.

[0111] Wird das bei erhöhtem elektrischem Import eingesparte Brenngas eingespeichert, kann es zu einem beliebigen Zeitpunkt über eine Gasturbine rückverstromt werden und dient daher als stationärer Speicher für elektrische Energie, der zur Anpassung an den Strompreis bzw. Strom-Markt genutzt werden kann.

[0112] Das System kann durch ein Power-Management System unterstützt werden, um zum Beispiel durch die Anpassung der Leistung des Antriebs im Generator-Betrieb einen Lastabwurf im Werksnetz zu stoppen oder zu reduzieren, wodurch das (Werks-)Netz stabilisiert werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer verfahrenstechnischen Anlage, durch die Olefine erzeugt werden, wobei unter Verwendung von Restwärme Dampf erzeugt wird;

wobei die verfahrenstechnische Anlage eine Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) aufweist, die zum Verdichten eines Arbeitsmediums verwendet wird; wobei die Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) unter Verwendung einer Dampfturbine (1a, 1b, 1c) angetrieben wird;

wobei zum Betreiben der Dampfturbine (1a, 1b, 1c) der Dampf verwendet wird, der unter Verwendung der Restwärme erzeugt wird;

wobei aus einer Extraktionsstufe der Dampfturbine (1a, 1b, 1c) zumindest ein Teil des zum Betreiben der Dampfturbine (1a, 1b, 1c) verwendeten Dampfs auf einem überatmosphärischen Druckniveau extrahiert wird;

dadurch gekennzeichnet, dass

die Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) zusätzlich mit einer elektrischen Maschine (3a, 3b, 3c) betrieben wird, welche drehmomentübertragend an einen Strang aus Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) und Dampfturbine (1a, 1b, 1c) gekoppelt ist; wobei die Leistung der elektrischen Maschine (3a, 3b, 3c) einstellbar ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Leistung der elektrischen Maschine (3a, 3b, 3c), die an den Strang aus Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) und Dampfturbine (1a, 1b, 1c) drehmomentübertragend gekoppelt ist, so eingestellt wird, dass die von der Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) benötigte Wellenleistung zur Verfügung gestellt wird.
3. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei dazu die elektrische Maschine (3a, 3b, 3c) als Elektromotor, der dem Strang aus Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) und Dampfturbine (1a, 1b, 1c) Leistung zuführt, oder als Generator, der von dem Strang aus Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) und Dampfturbine (1a, 1b, 1c) erzeugte Leistung in elektrische Energie umwandelt, die insbesondere teilweise zum Betrieb weiterer mit einem Elektromotor betriebenen Verdichtermaschinen (21, 21a, 21b, 22, 23) genutzt wird, betrieben wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1-4, wobei die elektrische Maschine (3a, 3b, 3c) über einen Frequenzumrichter, insbesondere einen rückspeisefähigen Frequenzumrichter, mit Energie versorgt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die elektrische Maschine (3a, 3b, 3c) als Festdrehzahlmotor ausgeführt ist und über ein Drehzahlregelgetriebe mit Überlagerungsmotor an dem Strang aus Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) und Dampfturbine (1a, 1b, 1c) gekoppelt ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1-4, wobei die elektrische Maschine (3a, 3b, 3c) als Festdrehzahlmotor ausgeführt ist und über ein hydraulisches Drehzahlregelgetriebe an dem Strang aus Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) und Dampfturbine (1a, 1b, 1c) gekoppelt ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei aus der Extraktionsstufe der Dampfturbine (1a, 1b, 1c) zumindest ein Teil des zum Betrei-

ben der Dampfmaschine verwendeten Dampfs auf einem überatmosphärischen Druckniveau von mehr als oder gleich 2 bar, insbesondere zwischen einschließlich 2 bar bis einschließlich 80 bar, beispielsweise 4 bis 8 bar oder 10 bis 30 bar, beispielsweise 15 bis 25 bar, 30 bis 60 bar, beispielsweise 35 bis 50 bar, extrahiert wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) Teil eines Rohgasverdichters ist, als Teil eines Rohgasverdichters betrieben wird, Teil eines Kältemittelverdichters ist oder als Teil eines Kältemittelverdichters betrieben wird. 10
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens zwei Verdichtermaschinen (21, 21a, 21b, 22, 23) zur Verdichtung von Arbeitsmedien vorgesehen sind und wobei mindestens eine Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) Teil eines Rohgasverdichters ist oder als Teil eines Rohgasverdichters betrieben wird und mindestens eine Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) Teil eines Kältemittelverdichters ist oder als Teil eines Kältemittelverdichters betrieben wird. 15 20 25
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Verdichtermaschinen (21, 21a, 21b, 22, 23), die nicht mit dem Strang aus einer Dampfturbine (1a, 1b, 1c) und einer elektrischen Maschine (3a, 3b, 3c) angetrieben werden, von einem Elektromotor oder jeweils einem Elektromotor angetrieben werden. 30
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei weniger als 10% einer zu der Dampfturbine (1a, 1b, 1c) geführten Gesamtdampfmenge auf unter 2 bar entspannt und mittels eines Kondensators kondensiert wird. 35 40
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei über 90% der zu der Dampfturbine (1a, 1b, 1c) geführten Gesamtdampfmenge unter Verwendung der Restwärme erzeugt wird. 45
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung zur Erzeugung von Olefinen weiterhin eine Wärmepumpe (4) umfasst, die von einer Dampfturbine (1a, 1b, 1c) und einer mit der Dampfturbine (1a, 1b, 1c) gekoppelten elektrischen Maschine (3d) betrieben wird. 50
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung zur Erzeugung von Olefinen weiterhin eine Verdichtermaschine umfasst, die mit einer Gasturbine angetrieben wird, wobei die Verdichtermaschine zusätzlich mit einer elektrischen Maschine betrieben wird, welche drehmo- 55

mentübertragend an den Strang aus Verdichtermaschine und Gasturbine gekoppelt ist und wobei die Leistung der elektrischen Maschine einstellbar ist.

- 5 15. Verfahrenstechnischen Anlage zur Erzeugung von Olefinen mit mindestens einer Verdichtermaschine (21, 21a, 21b, 22, 23) zur Verdichtung von Arbeitsmedien, wobei die verfahrenstechnische Anlage zum Durchführen des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist.

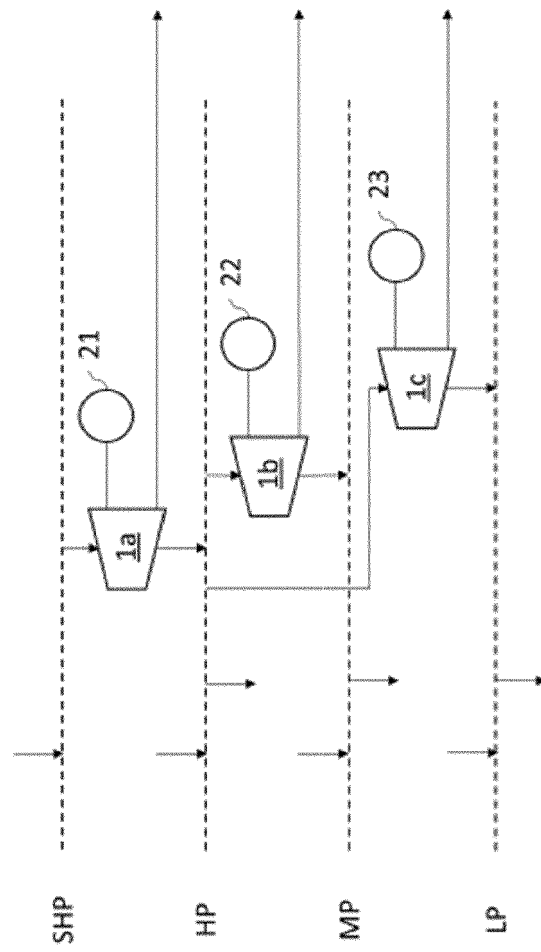


Fig. 1

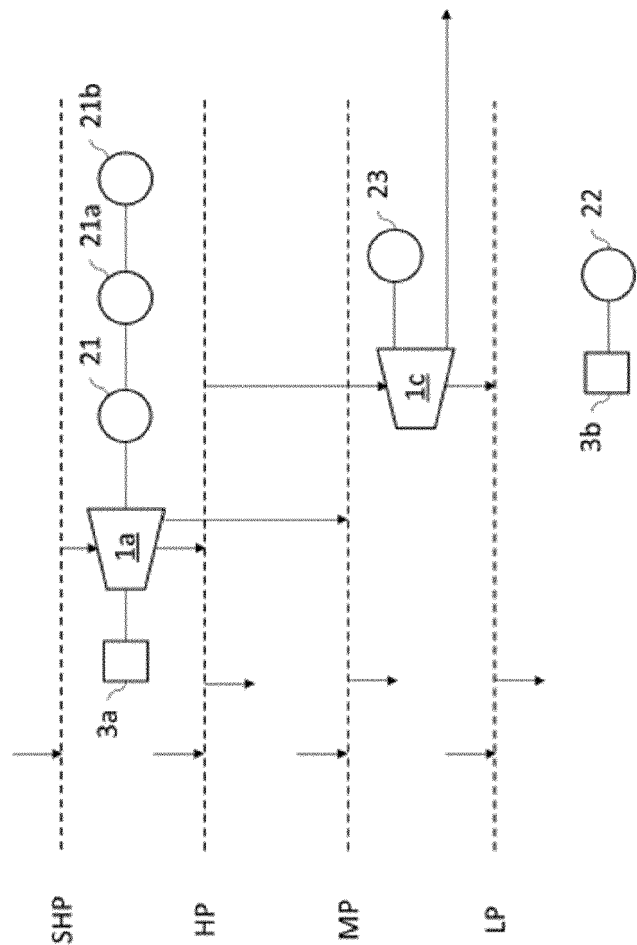


Fig. 2

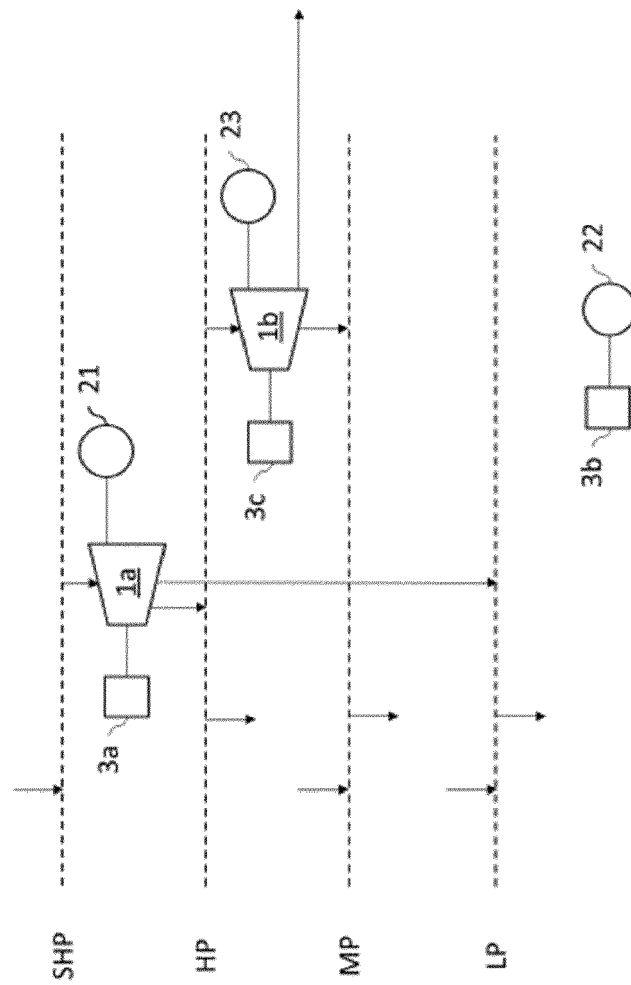


Fig. 3

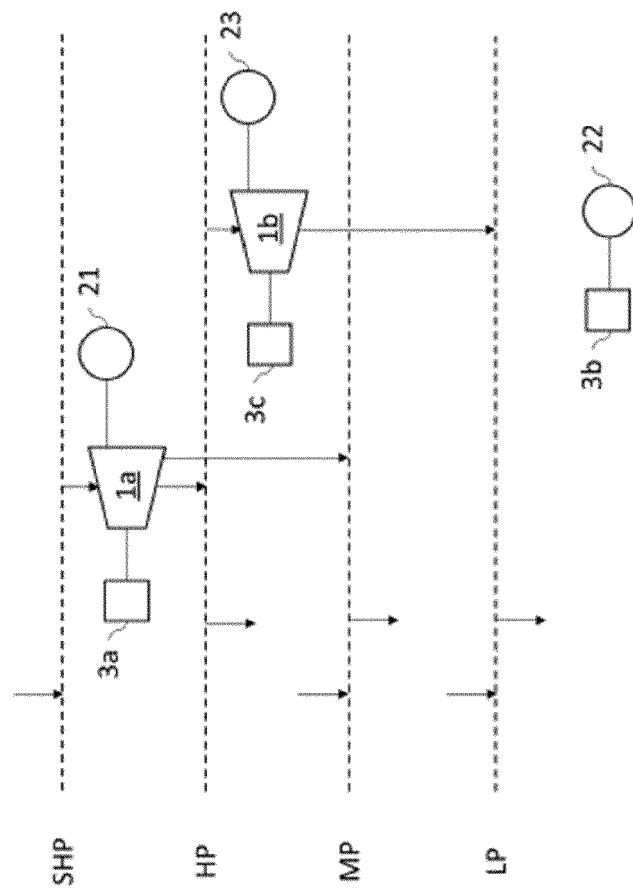
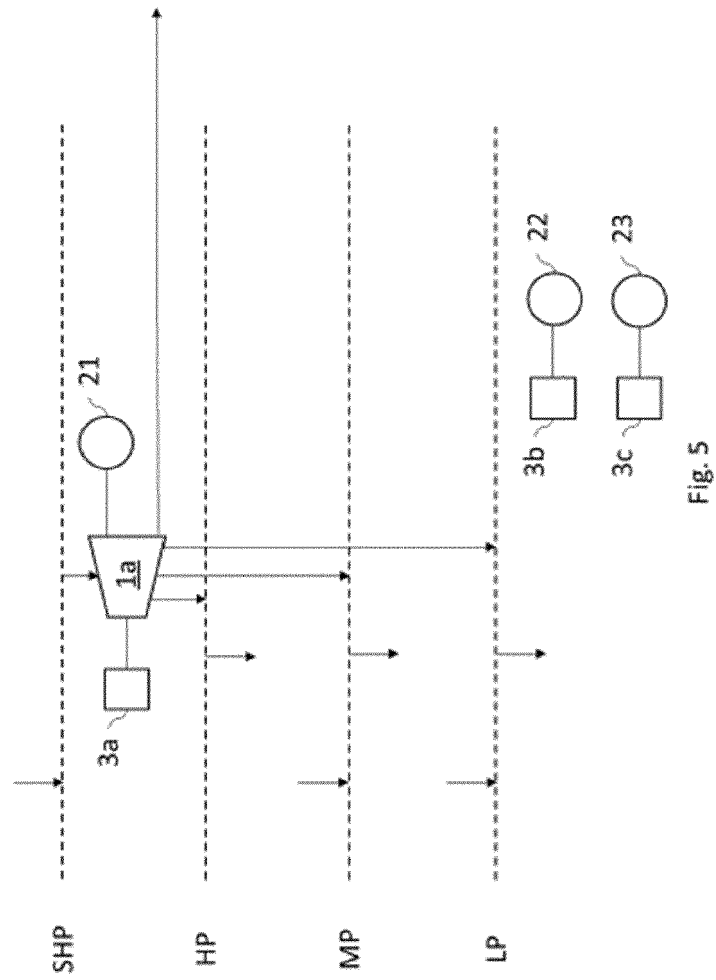


Fig. 4



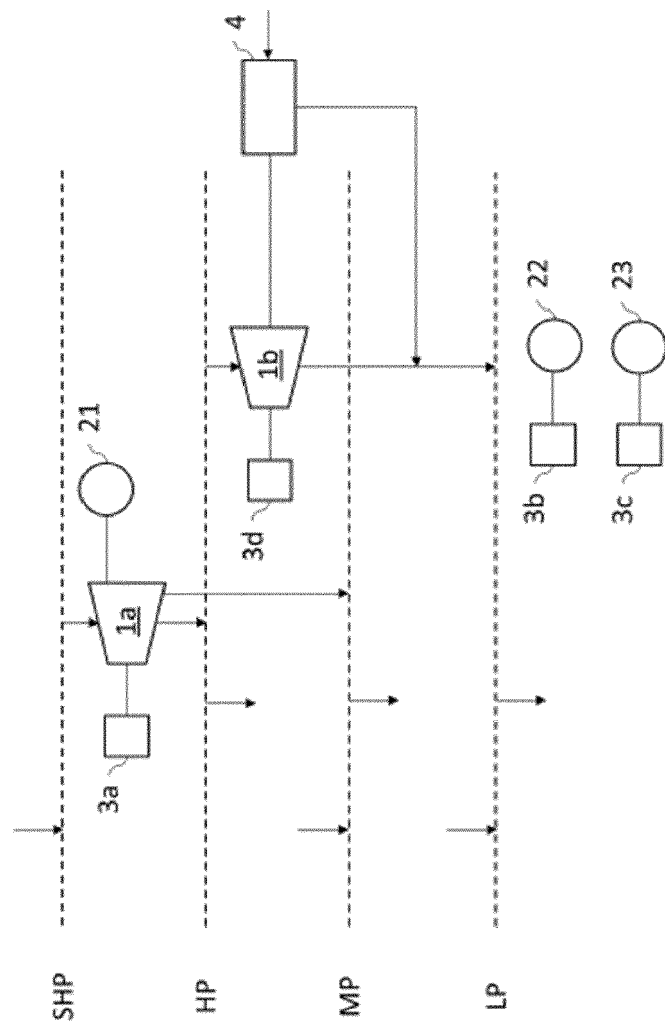


Fig. 6

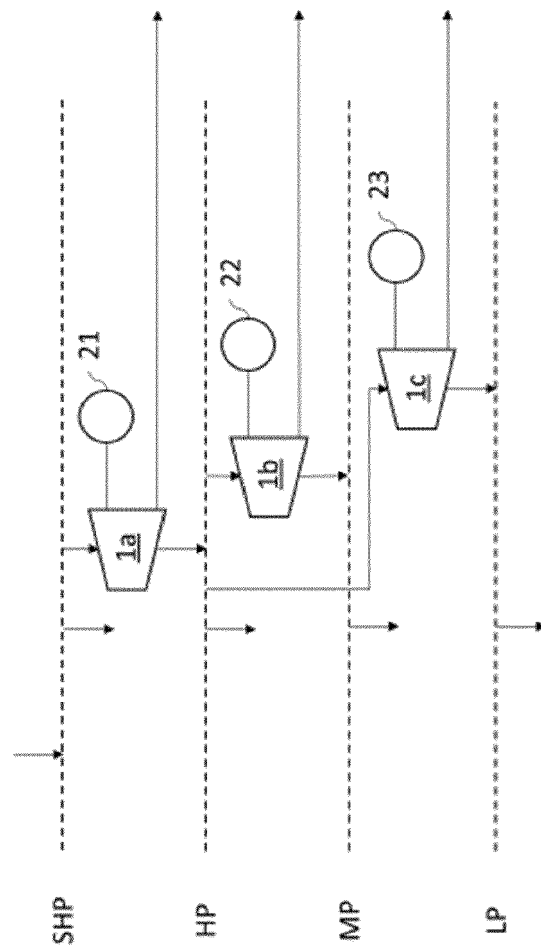


Fig. 7a

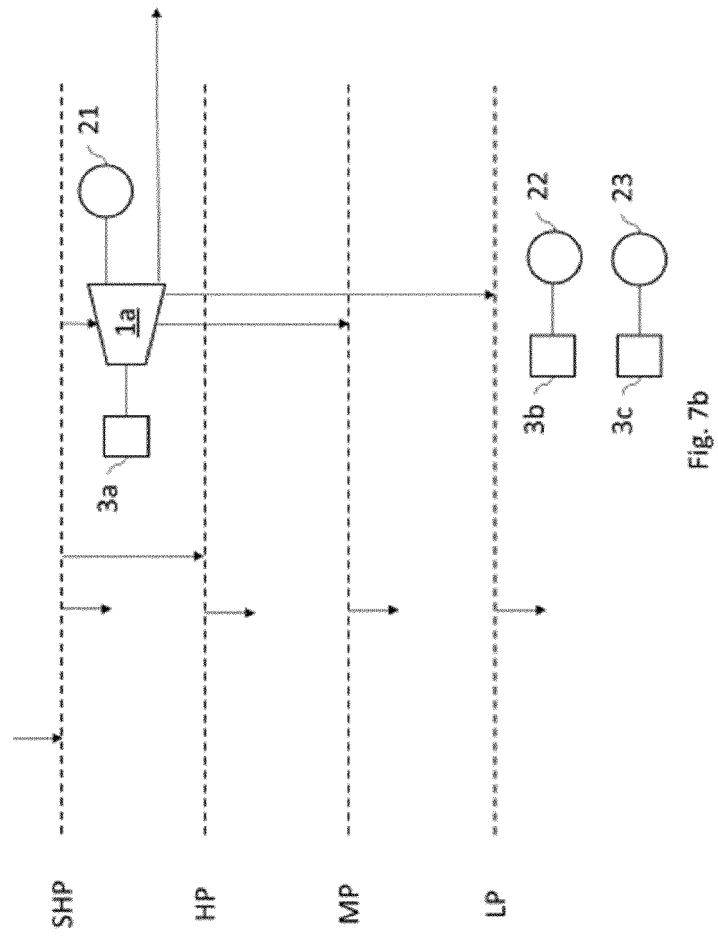


Fig. 7b



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0216

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	EP 3 725 865 A1 (SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES BV [NL]) 21. Oktober 2020 (2020-10-21) * Abbildungen 1-6 * * Absatz [0068] * * Ansprüche 1-15 *	1-15	INV. C10G9/00 C10G9/36 C10G70/04 F01K23/06 F04D25/04 F04D25/06 F25J3/02
X	WO 2023/047834 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND COMPRESSOR CORP [JP]) 30. März 2023 (2023-03-30) * Abbildungen 1-11 * * Ansprüche 1-8 * * Absätze [0080], [0081], [0228] *	1-15	
Y	JP H01 182501 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 20. Juli 1989 (1989-07-20) * Abbildungen 1-4 * * Beispiel *	1-15	
Y	EP 4 043 538 A1 (LINDE GMBH [DE]; BASF SE [DE]) 17. August 2022 (2022-08-17) * Ansprüche 1-15 * * Abbildung 1 * * Absätze [0015], [0016], [0021], [0035] *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C10G F04D F22G F01K F25J
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 9. Oktober 2023	Prüfer Zuurdeeg, Boudewijn
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0216

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	BRAYTON AJAIN R: "Paper 78d - A Practical Approach to Near-Term Decarbonization of the Ethylene Plant", 2022 AICHE SPRING MEETING AND 18TH GLOBAL CONGRESS ON PROCESS SAFETY, GCPS 2022 - 2022 AICHE SPRING MEETING AND 18TH GLOBAL CONGRESS ON PROCESS SAFETY, GCPS 2022 2022 AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS USA; 2022 AICHE SPRING MEETING AND 18TH GLOBAL, 1. Januar 2022 (2022-01-01), Seiten 1-51, XP009548251, ISBN: 978-1-7138-7086-9 * Tabelle 2.1 * * Abbildungen 2.1, 2.2 * -----	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		9. Oktober 2023	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			

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

EP 23 02 0216

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

09-10-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 3725865	A1	21-10-2020	KEINE		

15	WO 2023047834	A1	30-03-2023	KEINE		

	JP H01182501	A	20-07-1989	KEINE		

	EP 4043538	A1	17-08-2022	CA	3209975 A1	18-08-2022
				EP	4043538 A1	17-08-2022
20				WO	2022171894 A1	18-08-2022

25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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 Patentdokumente

- EP 3640231 B1 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Ethylene. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 15. April 2007 [0002]