



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**24.04.2024 Patentblatt 2024/17**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**C10G 69/06 (2006.01) C07C 4/18 (2006.01)**  
**C07C 15/04 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **22020498.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**C10G 69/06; C10G 2400/30**

(22) Anmeldetag: **20.10.2022**

(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**

(72) Erfinder: **Fritz, Helmut**  
**82049 Pullach (DE)**

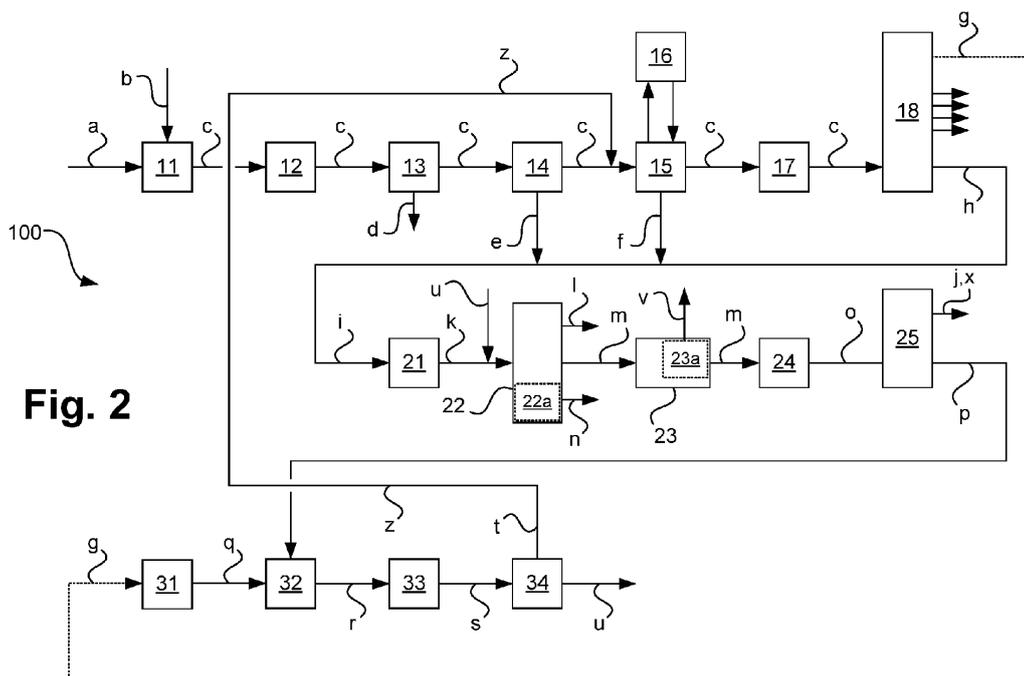
(74) Vertreter: **Reuß, Stephanie**  
**Linde GmbH**  
**Intellectual Property EMEA**  
**Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14**  
**82049 Pullach (DE)**

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

(54) **VERFAHREN UND ANLAGE ZUR HERSTELLUNG VON BENZOL**

(57) Es wird ein Verfahren (100) zur Herstellung von Benzol vorgeschlagen, bei dem ein kohlenwasserstoffhaltiges Einsatzgemisch unter Erhalt eines Spaltgases durch Dampfspalten (11) bearbeitet wird, das Spaltgas oder ein Teil hiervon unter Erhalt eines Pyrolysebenzins einer Spaltgasaufbereitung (12-18) unterworfen wird, das Pyrolysebenzin oder ein Teil hiervon unter Erhalt einer Alkylaromatenfraktion einer Benzinaufbereitung (21-25) unterworfen wird, die Alkylaromatenfraktion oder

ein Teil hiervon unter Erhalt eines Produktgemischs einer Hydrodealkylierung (33) unterworfen wird, das Produktgemisch oder ein Teil hiervon unter Erhalt einer Kondensatfraktion einer Kondensation (34) unterworfen wird, und die Kondensatfraktion oder ein Teil hiervon in die Benzinaufbereitung (21-25) zurückgeführt wird. Eine entsprechende Anlage ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung.



**Fig. 2**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Herstellung von Benzol gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

### Stand der Technik

**[0002]** Benzol kann durch Hydrodealkylierung (engl. Hydrodealkylation, HDA) von Ausgangsverbindungen wie Toluol, Xylole und alkylierten Aromaten mit neun Kohlenstoffatomen hergestellt werden. Diese Ausgangsverbindungen werden häufig in Form einer sogenannten BTX-Fraktion gewonnen, die beispielsweise unter Verwendung von sogenanntem Pyrolysebenzin hergestellt werden kann, wie es beim Dampfspalten (Steamcracking, engl. Steam Cracking) anfällt. Alternative Quellen sind beispielsweise das Reformat bei der katalytischen Reformierung sowie das Hydrierbenzin bei der Verflüssigung von Kohle.

**[0003]** Pyrolysebenzin aus der Dampfspaltung umfasst typischerweise überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit fünf bis zehn Kohlenstoffatomen, davon überwiegend Aromaten. Die in geringerem Anteil enthaltenen Aliphaten sind überwiegend ungesättigt und umfassen einen hohen Anteil an Acetylenen und Dienen. Das Pyrolysebenzin ist daher instabil und kann aufgrund der Polymerisationsneigung der genannten Komponenten nicht gelagert werden. Es wird daher in mehreren verfahrenstechnischen Schritten weiterbehandelt, und zwar im sogenannten Benzinweg bzw. der sogenannten Benzinaufbereitung.

**[0004]** Beispielsweise kann dabei zunächst eine selektive Hydrierung erfolgen, um Acetylene, Diene und Styrole zu Olefinen umzusetzen. Nach Abtrennung von höhermolekularen Komponenten, d.h. Kohlenwasserstoffen mit neun und mehr Kohlenstoffatomen, kann das entsprechend behandelte Pyrolysebenzin dann einer Trennung zugeführt werden, in der typischerweise unter anderem eine Fraktion gebildet wird, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sechs bis acht oder, soweit nach der vorigen Abtrennung verblieben, bis neun, Kohlenstoffatomen enthält. Es handelt sich hierbei um den sogenannten Herzschnitt (engl. Heart Cut).

**[0005]** Der Herzschnitt kann einer Hydrodesulfurierung unterworfen werden, in der Olefine zu Paraffinen und Naphthenen und organisch gebundener Schwefel zu Schwefelwasserstoff umgesetzt werden. Der Schwefelwasserstoff kann in einem nachgeschalteten Stripper ausgetrieben werden. Der entsprechend behandelte Herzschnitt kann anschließend einer Aromatenextraktion unterworfen werden, in welcher die BTX-Fraktion von den Aliphaten abgetrennt wird.

**[0006]** In entsprechenden Verfahren kann auch zunächst eine Abtrennung von Benzol bzw. einer benzolhaltigen Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sechs Kohlenstoffatomen ent-

hält, erfolgen. Hierbei wird die benzolhaltige Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sechs Kohlenstoffatomen enthält, sowie eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sieben und acht Kohlenstoffatomen enthält, gebildet. Letztere kann einer extraktiven Abtrennung von Aromaten und erst zuletzt einer Hydrodesulfurierung unterworfen werden. Die spezifische Reihenfolge der Trennschritte richtet sich insbesondere nach den jeweils gewünschten Produkten.

**[0007]** Bei der Hydrodealkylierung werden die Alkylreste i.d.R. unter Verbrauch jeweils eines Wasserstoffmoleküls und unter Bildung der entsprechenden Alkane vom Benzolring abgespalten. Es sind katalytische und thermische Hydrodealkylierungsverfahren bekannt. Diesen Verfahren ist gemein, dass zur Hydrodealkylierung jeweils Wasserstoff bereitgestellt werden muss.

**[0008]** Als Einsatz für die Hydrodealkylierung kommt, allgemein gesprochen, eine Fraktion an Kohlenwasserstoffen zum Einsatz, die überwiegend oder ausschließlich aromatische Verbindungen mit sechs bis acht oder sieben und acht Kohlenstoffatomen enthält, und die durch eine entsprechende Extraktion erhalten wurde. Neben dem eigentlichen Reaktionsteil, in der die Hydrodealkylierungsreaktion selbst durchgeführt wird, bedarf die Hydrodealkylierung weiterer Prozessschritte, wie unten erläutert.

**[0009]** Die Implementierung dieser weiteren Prozessschritte, die für die Hydrodealkylierung erforderlich sind, erhöht in besonderer Weise die Kosten und den apparativen Aufwand bei der Herstellung von Benzol durch Hydrodealkylierung. Die vorliegende Erfindung stellt sich die Aufgabe, hier Verbesserungen zu schaffen.

### Offenbarung der Erfindung

**[0010]** Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Anlage zur Herstellung von Benzol mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Ausgestaltungen sind jeweils 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]** Zu Details bezüglich der Hydrodealkylierung und der Wasserstoffgewinnung sei auf einschlägige Fachliteratur verwiesen, beispielsweise den Artikel "Benzene" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, online seit 15. Juni 2000, DOI 10.1002/14356007.a03\_475, insbesondere Abschnitt 5.3.1, "Hydrodealkylation", und den Artikel "Hydrogen" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Onlineausgabe 15. Juni 2000, DOI: 10.1002/14356007.a13\_297. Verfahren und Vorrichtungen zum Dampfspalten sind beispielsweise im Artikel "Ethylene" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, online seit 15. April 2007, DOI

10.1002/14356007.a10\_045.pub2, beschrieben.

**[0013]** Flüssige und gasförmige Gemische können im hier verwendeten Sprachgebrauch reich oder arm an einer oder mehreren Komponenten sein, wobei "reich" für einen Gehalt von wenigstens 50%, 75%, 90%, 95%, 99%, 99,5%, 99,9% oder 99,99% und "arm" für einen Gehalt von höchstens 50%, 25%, 10%, 5%, 1%, 0,1% oder 0,01% auf molarer, Gewichts- oder Volumenbasis stehen kann. Der Begriff "überwiegend" kann der Definition von "reich" entsprechen. Flüssige und gasförmige Gemische können im hier verwendeten Sprachgebrauch ferner angereichert oder abgereichert an einer oder mehreren Komponenten sein, wobei sich diese Begriffe auf einen entsprechenden Gehalt in einem Ausgangsgemisch beziehen, aus dem der flüssige oder gasförmige Strom erhalten wurde. Das flüssige oder gasförmige Gemisch 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 entsprechenden Komponente, bezogen auf das Ausgangsgemisch, enthält. Ist vorliegend beispielsweise von "Methan" oder "Wasserstoff" bzw. einer entsprechenden Fraktion die Rede, sei darunter auch ein Gemisch verstanden, das reich an der entsprechenden Komponente ist. Es kann sich jedoch auch um das jeweilige Reingas handeln.

**[0014]** Unter der Angabe "im Wesentlichen frei von" soll hier insbesondere verstanden werden, dass in einer bestimmten Zusammensetzung, einem Stoffstrom usw. ein oder mehrere entsprechend bezeichnete Bestandteile in einer derart geringen Menge enthalten sind, die die wesentlichen Merkmale der Zusammensetzung nicht signifikant ändern. Beispielsweise wird eine "im Wesentlichen an anderen Kohlenwasserstoffen mit fünf und mehr Kohlenstoffatomen freie" Alkylaromatenfraktion durch den Gehalt an den anderen Kohlenwasserstoffen mit fünf und mehr Kohlenstoffatomen in ihren Trenneigenschaften nicht wesentlich beeinflusst, und der Gehalt an anderen Kohlenwasserstoffen mit fünf und mehr Kohlenstoffatomen beeinflusst die Ausbeute des Verfahrens nicht nennenswert. Die Angabe "im Wesentlichen frei von" kann auch als Synonym für die Angabe "arm an" im erläuterten Sinn verstanden werden.

**[0015]** Ein flüssiges oder gasförmiges Gemisch ist von einem anderen flüssigen oder gasförmigen Gemisch (auch als Ausgangsgemisch bezeichnet) "abgeleitet" oder aus diesem Gemisch oder unter Verwendung dieses Gemischs "gebildet", wenn es zumindest einige in dem Ausgangsstrom enthaltene oder aus diesem erhaltene Komponenten aufweist. Ein in diesem Sinne gebildetes Gemisch kann aus dem Ausgangsgemisch durch Abtrennen oder Abzweigen eines Teilstroms oder einer oder mehrerer Komponenten, Anreichern oder Abreichern bezüglich einer oder mehrerer Komponenten, chemisches oder physikalisches Umsetzen einer oder mehrerer Komponenten, Erwärmen, Abkühlen, Druckbeauf-

schlagen und dergleichen gebildet werden. Ein "Bilden", beispielsweise eines Einsatzgemischs für einen anschließenden Trennprozess, kann jedoch auch einfach das Führen eines entsprechenden Gemischs in einer geeigneten Leitung und ein Zuführen zu dem Trennprozess darstellen.

Vorteile der Erfindung

**[0016]** Die vorliegende Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass eine weitgehende Integration einer Hydrodealkylierung und eines Dampfspaltverfahrens, genauer die Bearbeitung eines Produktgemischs aus der Hydrodealkylierung im sogenannten Benzinweg bzw. der Benzinaufbereitung, der bzw. die in einer dem Dampfspaltverfahren zugeordneten Trennsequenz integriert ist, insbesondere ab einer gezielt gewählten Einspeisestelle, besondere Vorteile bietet und die eingangs erwähnten Nachteile zumindest zum Teil überwindet.

**[0017]** Beim Dampfspalten werden bekanntermaßen Stoffgemische gebildet, die einer geeigneten Aufbereitung, und, zur Trennung in Komponenten oder Komponentengruppen, bekannten Trennsequenzen unterworfen werden können. Ein Beispiel für eine derartige Trennsequenz ist unter Bezugnahme auf die beigefügte Figur 1 näher erläutert. Entsprechende Trennsequenzen sind, wie erwähnt, aus dem zitierten Stand der Technik bekannt und unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Reihenfolge der verwendeten Trennschritte.

**[0018]** Ein derartiges Stoffgemisch wird als "Spaltgas" oder "Rohgas" (engl. Cracked Gas) bezeichnet, obwohl es auch bei moderaten Temperaturen kondensierbare Verbindungen enthält, die unter Normalbedingungen nicht gasförmig sind. Dieses wird zunächst einer Kühlung, beispielsweise in einem Linearkühler (engl. Transfer Line Exchanger, TLE) unterworfen. Anschließend erfolgt eine Abtrennung schwererer Komponenten, typischerweise unter Verwendung eines Öl- und eines Wasserkreislaufs. Hierbei kann eine Pyrolysebenzinfraction gebildet und Wasser rückgewonnen werden. Weiteres Pyrolysebenzin scheidet sich in einer sich anschließenden Verdichtung aus dem Produktgemisch ab. Im Zuge der Verdichtung, d.h. insbesondere auf einer Zwischenstufe eines verwendeten mehrstufigen Verdichters, erfolgt typischerweise eine Sauer gasentfernung, typischerweise unter Verwendung einer Amin- und/oder Laugenwäsche. Das entsprechend aufbereitete Spaltgas bzw. Rohgas wird anschließend getrocknet und vorgekühlt, bevor es einer thermischen Trennung unterworfen wird.

**[0019]** Die thermische Trennung, die typischerweise die Verwendung kroygener Temperaturen umfasst, kann dabei beispielsweise in Form eines sogenannten "Front End Deethanizer" bzw. "Deethanizer First"-, eines sogenannten "Front End Demethanizer" bzw. "Demethanizer First"- oder eines sogenannten "Front End Depropanizer" bzw. "Depropanizer First"- Verfahrens ausgestaltet sein. Zu entsprechenden Details sei auf den eingangs

zitierten Stand der Technik verwiesen. Trennsequenzen für Spaltgase sind insbesondere in Abschnitt 5.3.2.2, "Hydrocarbon Fractionation Section" in dem zuletzt erwähnten Ullmann-Artikel erläutert.

**[0020]** Fraktionen, die in einer entsprechenden thermischen Trennung gebildet werden können, sind beispielsweise eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit zwei Kohlenstoffatomen enthält, insbesondere Ethan und Ethylen. Hieraus kann Ethylenfraktion abgetrennt und als Produkt bereitgestellt werden. Das Ethan kann beispielsweise zum Dampfspalten zurückgeführt werden. Bezüglich der Gewinnung weiterer Fraktionen sei auf den Stand der Technik verwiesen. Einer thermischen Trennung bzw. einzelnen Schritten dieser kann insbesondere eine Hydrierung vor-, zwischen- oder nachgeschaltet sein. Diese dient insbesondere dazu, in dem Produktgemisch enthaltene Acetylene zu den entsprechenden Olefinen umzusetzen. In einer thermischen Trennung kann insbesondere auch eine weitere Pyrolysebenzinfraction gebildet werden. Sämtliche der Pyrolysebenzinfractionen können vereinigt oder getrennt behandelt werden. Die bei der Bildung des Pyrolysebenzins durchgeführten Verfahrensschritte werden nachfolgend mit dem Begriff "Spaltgasaufbereitung" zusammengefasst. Wie erläutert, können Anteile des Pyrolysebenzins dabei auch nach unterschiedlichen Bearbeitungsschritten der Spaltgasaufbereitung abgetrennt werden. Die zur weiteren Bearbeitung des Pyrolysebenzins im sogenannten Benzinweg vorgenommenen Bearbeitungsschritte werden unter dem Begriff "Benzinaufbereitung" zusammengefasst.

**[0021]** Die vorliegende Erfindung beruht nun, wie bereits kurz angedeutet, auf der Erkenntnis, dass die Verfahrensschritte, die herkömmlicherweise neben der eigentlichen Hydrodealkylierungsreaktion im Rahmen eines Hydrodealkylierungsverfahrens implementiert werden müssen, teilweise den Verfahrensschritten ähneln oder gleichen, die zur Bearbeitung des Pyrolysebenzins aus einem Dampfspaltverfahren im Benzinweg bereits typischerweise implementiert sind. Dies wird nun erläutert.

**[0022]** Insbesondere kann die eingangs erläuterte Abtrennung schwererer Komponenten, d.h. von Komponenten mit neun und mehr Kohlenstoffatomen, aus dem Pyrolysebenzin auch zur Bearbeitung des Produktgemischs der Hydrodealkylierung genutzt werden. Diese Abtrennung schwererer Komponenten im Benzinweg kann dabei, wie erfindungsgemäß erkannt wurde, die Entfernung von teerartigen Komponenten (engl. Tar Rejection) ersetzen. Letztere ist herkömmlicherweise in einem Hydrodealkylierungsverfahren bzw. in den die eigentliche Hydrodealkylierung begleitenden Verfahrensschritten vorgesehen. Es kann dabei in Kauf genommen werden, dass Biphenyl in die abgetrennte schwere Fraktion übergeht und mit dieser ggf. verworfen wird. Die im Rahmen der vorliegenden Erfindung erzielten deutlich geringeren Investitionskosten gleichen dies mehr als aus.

**[0023]** Auch die zur Bildung des Herzschnittes eingesetzte Trennung im Benzinweg, bei der unter anderem Kohlenwasserstoffe mit fünf Kohlenstoffatomen abgetrennt werden, kann zur Bearbeitung des Produktgemischs der Hydrodealkylierung genutzt werden. Diese kann, wie erfindungsgemäß erkannt wurde, die herkömmlicherweise zur Bearbeitung des Produktgemischs der Hydrodealkylierung implementierte Kondensatstripung ersetzen. Herkömmlicherweise wird das Produktgemisch der Hydrodealkylierung zur Entfernung von leichteren Kohlenwasserstoffen durch Abkühlen kondensiert. Im Kondensat verbleibende leichtere Kohlenwasserstoffe werden in der erwähnten Kondensatstripung durch ein Gas ausgetrieben. Im Wesentlichen dieselbe Funktion, die Abtrennung leichterer Komponenten, erfüllen die zur Bildung des Herzschnittes im Benzinweg implementierten Verfahrensschritte.

**[0024]** Schließlich kann im mehrfach erläuterten Benzinweg der eingangs erläuterte Trennschritt vorgesehen sein, bei dem eine benzolhaltige Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sechs Kohlenstoffatomen enthält, sowie eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sieben und acht Kohlenstoffatomen enthält, gebildet wird. Dieser Trennschritt erfüllt im Wesentlichen dieselbe Funktion wie die herkömmlicherweise der Hydrodealkylierung zugeordnete Benzolabtrennung in einer sogenannten Benzolkolonne und kann diese daher, wie erfindungsgemäß erkannt wurde, ersetzen.

**[0025]** Schließlich sind das Produktgemisch der Hydrodealkylierung und die hieraus gebildeten Komponentengemische schwefelbelastet. Da im Benzinweg eine Entschwefelung durch Hydrodesulfurierung vorgesehen ist, kann diese, wie erfindungsgemäß erkannt wurde, auch vorteilhafterweise zur Bearbeitung des Produktgemischs der Hydrodealkylierung verwendet werden.

**[0026]** Die vorliegende Erfindung umfasst somit, mit anderen Worten, dass die Prozessschritte, welche in ähnlicher Funktion bereits im Benzinweg vorhanden sind oder ohnehin gebraucht werden, mitgenutzt werden, anstatt sie für die Hydrodealkylierung separat zu errichten. Die Mehrbelastung entsprechender Baugruppen, insbesondere der Hydrodesulfurierung und der Extraktionsstufe, werden dabei in Kauf genommen. Außerdem kann, wie erwähnt, ein gewisser Verlust an Benzolproduktionskapazität durch das Verwerfen von Biphenyl in die schwere Fraktion im Rahmen der vorliegenden Erfindung in Kauf genommen.

**[0027]** Die erfindungsgemäßen Vorteile werden dadurch erzielt, dass der kondensierte Anteil des Produktgemischs an geeigneter Stelle in den Trennweg, dem das Rohbenzin aus dem Trennteil der Dampfspaltung zugeführt wird, zurückgeführt wird. Beim Rohbenzin handelt es sich um eine Fraktion mit fünf und mehr Kohlenstoffatomen. Die Zumischung bzw. Rückführung erfolgt dabei im Rahmen einer ersten Alternative der vorliegenden Erfindung an einer Stelle bzw. in einen Prozessschritt, welche(r) sich stromauf einer Schwefelwasser-

stoffentfernung bzw. einer Entfernung von Leichtgasen durch Strippung befindet. In einer zweiten Alternative kann die Rückführung auch an einer Stelle bzw. in einen Prozessschritt erfolgen, welche(r) sich stromauf einer Benzolabtrennung bzw. dem Trennschritt befindet, in dem eine benzolhaltige Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sechs Kohlenstoffatomen enthält, sowie eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich aromatische Verbindungen mit sieben und acht Kohlenstoffatomen enthält, gebildet wird. In einer dritten Alternative kann die Rückführung an einer Stelle bzw. in einen Prozessschritt erfolgen, welche(r) sich stromauf einer Abtrennung von hochsiedenden Komponenten, d.h. Kohlenwasserstoffen mit neun Kohlenstoffatomen befindet.

**[0028]** Wie erwähnt, können die in den drei Alternativen angegebenen Prozessschritte nach Bedarf in unterschiedlicher Reihenfolge vorgesehen sein. Im Rahmen der Erfindung erfolgt die Rückführung dabei vorteilhafterweise in den am weitesten stromauf gelegenen. Die in der ersten Alternative angegebene Strippung kann dabei integraler Bestandteil eines der in den beiden anderen Alternativen angegebenen Prozessschritte sein. Ebenso können die Trennung zur Bildung der benzolhaltigen Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sechs Kohlenstoffatomen enthält, sowie der Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich aromatische Verbindungen mit sieben und acht Kohlenstoffatomen enthält, und die Abtrennung von hochsiedenden Komponenten, d.h. von Kohlenwasserstoffen mit neun Kohlenstoffatomen, in einer Prozesseinheit integriert sein.

**[0029]** Die Einspeisung des kondensierten Anteils des Produktgemischs der Hydrodealkylierung kann sowohl vor als auch nach der üblicherweise an erster Stelle im Benzinweg angeordneten Selektivhydrierung erfolgen. Mit besonderem Vorteil erfolgt die Einspeisung zur vor bzw. in den ersten destillativen Trennschritt, welchem das Rohbenzin oder eine das Rohbenzin bildende Fraktion unterworfen wird. Sollte der erste Trennschnitt im Vakuum erfolgen, empfiehlt es sich, das Kondensat vorher einer Strippfunktion zu unterziehen, da sonst das Vakuumssystem mit den im Kondensat gelösten Leichtgasbestandteilen (z.B. Wasserstoff und Methan) übermäßig belastet wird. In solchem Fall wäre das Kondensat vorteilhafterweise bereits in die Benzinstrippung stromauf der Selektivhydrierung zu führen.

**[0030]** Insgesamt schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Benzol vor, bei dem, wie insoweit noch bekannt und üblich, ein kohlenwasserstoffhaltiges Einsatzgemisch unter Erhalt eines Spaltgases durch Dampfspalten bearbeitet wird. Das Spaltgas enthält Kohlenwasserstoffe mit fünf und mehr Kohlenstoffatomen, darunter Benzol und Alkylaromaten, jedoch auch einen beträchtlichen Anteil leichterer Komponenten. Die Alkylaromaten sind insbesondere solche mit sieben und acht Kohlenstoffatomen, insbesondere Toluol und unterschiedliche Xylolisomere

**[0031]** Das kohlenwasserstoffhaltige Einsatzgemisch kann beispielsweise gasförmige Kohlenwasserstoffe oder flüssige Kohlenwasserstoffe enthalten. Es kann sich auch um eine Mischung entsprechender Einsatzgemische handeln. Beispielsweise kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung Naphtha als Einsatzgemisch verwendet werden. Es können jedoch auch gasförmige Einsatzgemische wie Ethan zum Einsatz kommen. Entsprechende Einsatzgemische können in unterschiedlichen Spaltöfen durch Dampfspalten bearbeitet werden, wobei bestimmte Produktfraktionen aus einem beim Dampfspalten erhaltenen Spaltgas abgetrennt und zurückgeführt werden können. Zu weiteren Details bezüglich Dampfspaltverfahren sei auf die obigen Erläuterungen und die dort zitierte Fachliteratur ausdrücklich verwiesen.

**[0032]** Die vorliegende Erfindung erstreckt sich überwiegend auf die Herstellung von Benzol, wobei jedoch in einem entsprechenden Verfahren noch weitere Produkte des Dampfspaltverfahrens gewonnen werden können, insbesondere ungesättigte Kohlenwasserstoffe wie Ethylen, Propylen und dergleichen. Die vorliegende Erfindung ist also nicht auf die Herstellung von Benzol beschränkt, sondern kann auch die Gewinnung derartiger weiterer Komponenten umfassen.

**[0033]** Zur Trennung des Spaltgases können sämtliche aus dem Stand der Technik bekannten Trennsequenzen verwendet werden. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird das Spaltgas oder ein Teil hiervon unter Erhalt eines Pyrolysebenzins einer Spaltgasaufbereitung unterworfen, und das Pyrolysebenzin oder ein Teil hiervon wird unter Erhalt einer Alkylaromatenfraktion einer Benzinaufbereitung unterworfen.

**[0034]** Die Spaltgasaufbereitung und/oder die Benzinaufbereitung können neben Trennschritten im engeren Sinn, beispielsweise absorptiven, absorptiven und destillativen Trennschritten, auch beliebige andere Bearbeitungsschritte umfassen, beispielsweise Hydrierungsschritte, Verdichtungsschritte, Trocknungsschritte und dergleichen. Das Pyrolysebenzin weist insbesondere die Kohlenwasserstoffe mit fünf und mehr Kohlenstoffatomen aus dem Spaltgas (einen Teil hiervon oder im Wesentlichen die gesamte Menge dieser Kohlenwasserstoffe) auf und ist insbesondere arm oder frei von den leichteren Komponenten. Bei dem dritten Komponentengemisch handelt es sich somit um eine typische Rohbenzinfraction, wie sie in bekannten Trennsequenzen von Dampfspaltverfahren gebildet werden kann.

**[0035]** Entsprechendes Pyrolysebenzin kann dabei bereits in einer sogenannten Wasserwäsche und/oder bei der Verdichtung des Spaltgases anfallen, und zwar als sogenanntes schweres Pyrolysebenzin, ein Teil wird jedoch insbesondere in einem sogenannten Debutanizer destillativ gebildet, nachdem leichtere Komponenten aus einem entsprechenden Spaltgas abgetrennt worden sind. Zur weiteren Behandlung eines entsprechenden Pyrolysebenzins sei auf die einleitenden Erläuterungen ausdrücklich verwiesen. Insbesondere bedarf ein ent-

sprechendes Rohbenzin einer Stabilisierung, um als Kraftstoff verwendbar zu sein.

**[0036]** Die Bearbeitung des Pyrolysebenzins erfolgt im sogenannten Benzinweg, hier wie üblich als Benzinaufbereitung bezeichnet. In dieser Benzinaufbereitung wird unter Verwendung des Pyrolysebenzins bzw. eines Teils hiervon eine Alkylaromatenfraktion gebildet, die die genannten Alkylaromaten enthält, und die im Wesentlichen frei von anderen Kohlenwasserstoffen mit fünf und mehr Kohlenstoffatomen ist. Die Alkylaromaten werden dabei von anderen Komponenten des dritten Pyrolysebenzins abgetrennt, um anschließend einer Hydrodealkylierung zur Gewinnung von Benzol unterworfen werden zu können. Die Alkylaromatenfraktion ist insbesondere die eingangs erwähnte sogenannte BTX-Fraktion oder ein nach Abtrennung von Benzol aus einer entsprechenden BTX-Fraktion verbleibendes Komponentengemisch.

**[0037]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird die Alkylaromatenfraktion oder ein Teil hiervon durch Hydrodealkylieren bearbeitet, wobei ein Produktgemisch gebildet wird, das Benzol, das durch die Hydrodealkylierung gebildet wird, und ferner Alkylaromaten, also bei der Hydrodealkylierung nicht umgesetzte Verbindungen, sowie Wasserstoff und leichtere Aliphaten enthält. Wasserstoff und leichtere Aliphaten sind in einem entsprechenden Produktgemisch enthalten, weil Wasserstoff für die Durchführung der Hydrodealkylierung gezielt zugegeben, aber nicht vollständig verbraucht wird und die leichteren Aliphaten bei der Hydrodealkylierung durch die Abspaltung der Alkylreste von den Alkylaromaten gebildet werden.

**[0038]** Die weitere Bearbeitung eines Produktgemischs aus der Hydrodealkylierung gemäß dem Stand der Technik wird insbesondere unter Bezugnahme auf die Figur 1 und die dortigen Schritte 33 bis 37 erläutert. Diese weitere Bearbeitung beginnt im herkömmlichen Verfahren, und insoweit auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung, dadurch, dass aus zumindest einem Teil eines entsprechenden Produktgemischs durch Kondensation eine Kondensatfraktion gebildet wird, die gegenüber dem Produktgemisch insbesondere an Wasserstoff und leichteren Aliphaten angereichert ist. Diese Kondensatfraktion oder ein Teil hiervon wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung nun jedoch in die Benzinaufbereitung zurückgeführt und dort wie bereits zuvor angesprochen und nachfolgend nochmals im Detail erläutert, behandelt.

**[0039]** Ein zweiter Schritt in der Aufbereitung eines Produktgemischs aus der Hydrodealkylierung ist herkömmlicherweise die Ausstrippung von den in dem Produktgemisch enthaltenen leichteren Aliphaten und von Wasserstoff, sowie ggf. von anderen leichteren Verbindungen. Dieser Trennschritt wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorteilhafterweise nicht mehr separat durchgeführt, sondern erfolgt im Zuge der Bearbeitung im Benzinweg, d.h. der Benzinaufbereitung.

**[0040]** Die vorliegende Erfindung schlägt also erfindungsgemäß vor, dass die Kondensatfraktion oder ein Teil hiervon als Rückführstrom in die Benzinaufbereitung

zurückgeführt wird, in welcher das Pyrolysebenzin gebildet wird.

**[0041]** Wie bereits erläutert, umfasst die Benzinaufbereitung insbesondere einen oder mehrere Trennschritte, in der ein sogenannter Herzschnitt gewonnen wird, der Kohlenwasserstoffe mit sechs bis acht oder sechs bis neun Kohlenstoffatomen enthält und an anderen Kohlenwasserstoffen angereichert ist. Dieser Trennschritt oder diese Trennschritte wird bzw. werden hier auch als Herzschnittgewinnung bezeichnet.

**[0042]** Der Herzschnitt oder ein Teil hiervon kann in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung unter Erhalt eines hydrodesulfurierten Herzschnitts einer Hydrodesulfurierung und Austreibung von Schwefelwasserstoff unterworfen werden. Hieran kann sich eine Gesamtaromatenextraktion anschließen, der der hydrodesulfurierte Herzschnitt oder ein Teil hiervon unter Erhalt einer Aromatengesamtfraktion unterworfen wird. Die Aromatengesamtfraktion oder ein Teil hiervon wiederum kann unter Erhalt der Alkylaromatenfraktion einer Alkylaromatenabtrennung unterworfen werden.

**[0043]** Gemäß unterschiedlicher Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung kann die Kondensatfraktion oder zumindest ein Teil hiervon stromauf der Herzschnittgewinnung, der Hydrodesulfurierung und/oder der Aromatenextraktion in die Benzinaufbereitung zurückgeführt werden. Auch jeweils Teilströme können entsprechend rückgeführt werden. Zu den jeweiligen Vorteilen sei auf die obigen Erläuterungen verwiesen. Wie oben bereits ausführlich erwähnt, können dabei die genannten Trennschritte in unterschiedlicher Reihenfolge in einer entsprechenden Trenn- bzw. Bearbeitungssequenz implementiert sein. Ferner können auch, wie bereits angesprochen, diese Trennschritte ggf. in einzelnen Prozesseinheiten bzw. Gruppen von Prozesseinheiten zusammengefasst werden.

**[0044]** Mit anderen Worten können in einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung von den genannten Trennschritten zumindest zwei in einer gemeinsamen Prozesseinheit durchgeführt werden. Auf diese Weise können ggf. Medien für diese Trennschritte gemeinsam genutzt werden.

**[0045]** Wie bereits erwähnt, sind die Produktgemische aus der Hydrodealkylierung im herkömmlichen Verfahren typischerweise schwefelbelastet, so dass eine Entschwefelung erforderlich ist. Diese wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorteilhafterweise ebenfalls im Zuge der Benzinazufbereitung durchgeführt. Mit anderen Worten umfasst die Benzinaufbereitung insbesondere eine Selektivhydrierung, wobei vorteilhafterweise zumindest ein Teil der Kondensatfraktion stromauf der Selektivhydrierung in die Benzinaufbereitung zurückgeführt wird.

**[0046]** In Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung kann vorgesehen sein, dass eine bei der Kondensation verbleibende gasförmige Fraktion oder ein Teil hiervon in die Spaltgasaufbereitung zurückgeführt wird. Auf diese Weise können hieraus Komponenten in besonders

vorteilhafter Weise zurückgewonnen werden.

**[0047]** Die Spaltgasaufbereitung kann insbesondere eine Kohlendioxidabscheidung umfassen, wobei zumindest ein Teil der gasförmigen Fraktion stromauf der Kohlendioxidabscheidung in die Spaltgasaufbereitung rückgeführt wird. Auf diese Weise kann auf eine separate Kohlendioxidabtrennung verzichtet werden.

**[0048]** Die vorliegende Erfindung erstreckt sich ferner auf eine Anlage zur Herstellung von Benzol, bezüglich derer auf den entsprechenden Patentanspruch verwiesen wird. Eine entsprechende Anlage ist insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens eingerichtet, wie es zuvor erläutert wurde, und weist hierzu entsprechend ausgebildete Mittel auf. Bezüglich Merkmalen und Vorteilen einer entsprechenden Anlage sei daher auf die obigen Erläuterungen bezüglich des erfindungsgemäßen Verfahrens und seiner Ausgestaltungen verwiesen.

**[0049]** Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert, welche eine Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Verfahrens gegenüber dem Stand der Technik veranschaulicht.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

#### **[0050]**

Figur 1 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltung in Form eines schematischen Ablaufplans.

Figur 2 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Ablaufplans.

**[0051]** In den Figuren sind einander baulich und/oder funktional entsprechende Elemente bzw. Verfahrensschritte mit identischen Bezugszeichen angegeben und werden der Übersichtlichkeit halber nicht wiederholt erläutert.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

**[0052]** Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen werden lediglich zu dem Zweck beschrieben, den Leser beim Verständnis der beanspruchten und zuvor erläuterten Merkmale zu unterstützen. Sie stellen lediglich repräsentative Beispiele dar und sollen hinsichtlich der Merkmale der Erfindung nicht abschließend und/oder beschränkend betrachtet werden. Es versteht sich, dass die zuvor und nachfolgend beschriebenen Vorteile, Ausführungsformen, Beispiele, Funktionen, Merkmale, Strukturen und/oder anderen Aspekte nicht als Beschränkungen des Umfangs der Erfindung, wie er in den Ansprüchen definiert ist, oder als Beschränkungen von Äquivalenten zu den Ansprüchen zu betrachten sind, und dass andere Ausführungsformen verwendet und Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Um-

fang der beanspruchten Erfindung abzuweichen.

**[0053]** Unterschiedliche Ausführungsformen der Erfindung können weitere zweckmäßige Kombinationen der beschriebenen Elemente, Komponenten, Merkmale, Teile, Schritte, Mittel usw. umfassen, aufweisen, aus ihnen bestehen oder im Wesentlichen aus ihnen bestehen, auch wenn solche Kombinationen hier nicht spezifisch beschrieben sind. Darüber hinaus kann die Offenbarung andere Erfindungen umfassen, die gegenwärtig nicht beansprucht sind, die aber in Zukunft beansprucht werden können, insbesondere wenn sie vom Umfang der unabhängigen Ansprüche umfasst sind.

**[0054]** 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.

**[0055]** Figur 1 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltung. Das Verfahren ist insgesamt mit 90 bezeichnet und entspricht weitgehend dem in der EP 3 293 169 A1 unter Bezugnahme auf die dortige Figur 1 beschriebenen Verfahren. Werden nachfolgend Verfahrensmerkmale bzw. Verfahrensschritte erläutert, betreffen diese Erläuterungen gleichermaßen in einer entsprechenden Anlage vorgesehene Elemente. Wird daher nachfolgend das Verfahren beschrieben, gelten die entsprechenden Erläuterungen für eine entsprechende Anlage in gleicher Weise.

**[0056]** In dem in Figur 1 veranschaulichten Verfahren 90 werden ein kohlenwasserstoffhaltiges Einsatzgemisch a und ein Dampfstrom b einem Dampfspaltofen 11 zugeführt. Dabei wird ein Spaltgas gebildet und in Form eines Spaltgasstroms c aus dem Dampfspaltofen 11 ausgeleitet. Die Darstellung ist hier insbesondere insoweit stark vereinfacht, als in der Praxis mehrere Einsatzströme und/oder Dampfströme sowie zusätzlich rückgeführte Stoffströme und dergleichen verwendet werden können, die einem oder mehreren Dampfspaltöfen, die unter gleichen oder unterschiedlichen Bedingungen betrieben werden können, zugeführt werden können. Beispielsweise können auch ein oder mehrere für (vollständig, überwiegend oder teilweise) flüssige Einsatzströme ausgelegte Dampfspaltöfen und/oder ein oder mehrere für (vollständig, überwiegend oder teilweise) gasförmige Einsatzströme ausgelegte Dampfspaltöfen vorgesehen sein. Entsprechend können auch mehrere Spaltgasströme gebildet werden, die beispielsweise vereinigt werden können. Auch die nachfolgend erläuterten Stoffströme und Anlagenteile können ein- oder mehrfach vorhanden sein.

**[0057]** Der Spaltgasstrom, der auch im weiteren Verlauf trotz zunehmend abweichender Zusammensetzung weiterhin mit c bezeichnet ist, wird im dargestellten Bei-

spiel einer Kühlung 12, beispielsweise unter Verwendung eines Linearkühlers, zugeführt. In einer Primärfraktionierung 13 werden, beispielsweise unter Verwendung eines Ölkreislaufs oder mittels anderer aus dem Stand der Technik bekannter Verfahren, schwere Komponenten mit einem Siedepunkt von typischerweise mehr als 200 °C aus dem Spaltgas abgeschieden und im dargestellten Beispiel in Form eines Pyrolyseölstroms d abgezogen. Das entsprechend von schweren Komponenten befreite Spaltgas wird in Form des weiterhin mit c bezeichneten Spaltgasstroms einer Wasserwäsche 14 zugeführt, wo es unter Verwendung von Waschwasser von Komponenten der Pyrolysebenzinfraction befreit und vom bei der Spaltung verwendeten Dampfes durch Kondensation abgetrennt wird. Diese Kohlenwasserstoffkomponenten können auch beispielsweise in die Primärfractionierung 13 zurückgeführt und dort zum Auswaschen der schweren Komponenten verwendet werden. Zumindest ein Teil der Pyrolysebenzinfraction wird im dargestellten Beispiel in Form eines Pyrolysebenzinstroms e abgezogen.

**[0058]** Auch wenn dem Spaltgasstrom im dargestellten Beispiel nun ein Stoffstrom z (siehe unten) zugepeist wird, ist ein entsprechender Sammelstrom hier weiterhin mit c bezeichnet. Dieser wird einer Verdichtung 15 zugeführt, der eine Sauergasentfernung 16 zugeordnet ist. Die Verdichtung 15 erfolgt über mehrere Stufen, auf eine Zwischenstufe wird der verdichtete Stoffstrom dabei zur Sauergasentfernung 16 geführt. Auch andere Konfigurationen sind möglich. Bei der Verdichtung scheiden sich weitere Komponenten der Pyrolysebenzinfraction ab, die in Form eines weiteren Pyrolysebenzinstroms f abgezogen werden. Das von Sauergasen befreite Gasgemisch wird in Form eines weiterhin mit c bezeichneten Stoffstroms nun einer Vorkühlung und Trocknung 17 zugeführt und dort von Restwasser befreit und vorgekühlt, bevor es in eine thermische Trennung 18 eingespeist wird. Zu Details der thermischen Trennung 18 sei auf die eingangs zitierte Fachliteratur verwiesen. Die thermische Trennung 18 ist hier nur der Übersichtlichkeit halber in Form einer einzelnen Einheit veranschaulicht. In der Praxis sind in einer entsprechenden thermischen Trennung 18 sequentiell angeordnete Trenneinheiten und andere Apparate (beispielsweise Deethanizer, Demethanizer, Depropanizer usw.) vorgesehen.

**[0059]** In der thermischen Trennung 18 wird aus dem Spaltgas eine Reihe von Fraktionen gebildet, von denen im vorliegenden Fall nur eine Wasserstofffraktion und eine weitere Pyrolysebenzinfraction näher erläutert werden. Diese werden in Form eines Wasserstoffstroms g und eines weiteren Pyrolysebenzinstroms h aus der thermischen Trennung 18 ausgeführt. Die Wasserstofffraktion kann beispielsweise aus einem überwiegend oder ausschließlich Wasserstoff und Methan enthaltenden Gasgemisch, das in der thermischen Trennung 18 in einem Demethanizer gebildet wird, abgetrennt werden. Sie enthält beispielsweise, wie erwähnt, 90% Wasserstoff. Die Pyrolysebenzinfraction wird beispielsweise in einem

Debutanizer gebildet, in dem Kohlenwasserstoffe mit vier Kohlenstoffatomen aus einem diese Kohlenwasserstoffe mit vier Kohlenstoffatomen sowie schwerere Kohlenwasserstoffe enthaltenden Stoffgemisch abgetrennt werden. Die in dem Debutanizer gebildete Pyrolysebenzinfraction enthält daher die genannten schwereren Kohlenwasserstoffe, insbesondere Kohlenwasserstoffe mit fünf bis zehn Kohlenstoffatomen.

**[0060]** Weitere in der thermischen Trennung 18 gebildete Fraktionen, die hier nicht separat erläutert werden, umfassen beispielsweise eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Methan enthält, eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit zwei Kohlenstoffatomen enthält, eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit drei Kohlenstoffatomen enthält und eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit zwei Kohlenstoffatomen enthält. Es können auch Teilfraktionen entsprechender Fraktionen gebildet werden, beispielsweise kann aus der Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit zwei Kohlenstoffatomen enthält, eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Ethylen enthält und eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Ethan enthält, gebildet werden. Letztere kann beispielsweise in den Spaltöfen 11 oder einen von mehreren solcher Spaltöfen, insbesondere einen separaten, für gasförmige Einsätze ausgelegten Spaltöfen, zurückgeführt werden. Entsprechendes gilt auch für die weiteren Fraktionen. Alle Fraktionen können geeigneten Nachbehandlungs-, Trenn-, Umsetzungs- und Aufbereitungsschritten unterworfen werden. Die thermische Trennung 18 kann beispielsweise auch Hydrierschritte umfassen oder solche Hydrierschritte können der Tieftemperaturtrennung 18 vorgeschaltet und/oder nachgeschaltet sein.

**[0061]** Die Pyrolysebenzinstrome e, f und h werden im Rahmen der hier veranschaulichten Ausführungsform der Erfindung zu einem Pyrolysebenzinsammelstrom i vereinigt, können aber auch separat verwendet werden. Die Pyrolysebenzinfraction (bzw. "das Pyrolysebenzin") umfasst überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit fünf bis zehn Kohlenstoffatomen, davon überwiegend Aromaten. Die enthaltenen Aliphaten sind überwiegend ungesättigt und umfassen einen hohen Anteil an Acetylenen und Dienen. Die Pyrolysebenzinfraction ist daher instabil und kann aufgrund der Polymerisationsneigung der genannten Komponenten nicht gelagert werden. In Abhängigkeit von den nachgeordneten Verfahrensschritten kann die Pyrolysebenzinfraction daher in mehreren Schritten weiterbehandelt werden. Die gesamte Behandlung der Pyrolysebenzinfraction erfolgt dabei im sogenannten Benzinweg bzw. der Benzinaufbereitung eines entsprechenden Verfahrens. Am gängigsten, und hier veranschaulicht, ist dabei die selektive Hydrierung 21 der gesamten Pyrolysebenzinfraction, um Acetylene, Diene und Styrole zu Olefinen umzusetzen. Nach Abtrennung von höhermolekularen Komponenten (nicht veranschaulicht) kann die entsprechend behan-

delte Pyrolysebenzinfraction in Form eines Stoffstroms k einer Trennung 22 zugeführt werden.

**[0062]** In der Trennung 22 werden im dargestellten Beispiel drei Fraktionen gebildet und in Form entsprechender Stoffströme abgezogen. Es handelt sich um eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit fünf Kohlenstoffatomen enthält (Stoffstrom l), eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sechs bis acht Kohlenstoffatomen enthält (sogenannter Herzschnitt, engl. Heart Cut, Stoffstrom m), und eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich schwerere Kohlenwasserstoffe enthält (Stoffstrom n). Ein Trennschritt in der Trennung 22, in dem die Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich schwerere Kohlenwasserstoffe enthält (Stoffstrom n) abgetrennt wird, ist hier mit 23a angege-

ben.  
**[0063]** Der Herzschnitt, d.h. der Stoffstrom m, kann einer Hydrodesulfurierung 23 unterworfen werden, in der Olefine zu Paraffinen und Naphthenen und gebundener Schwefel zu Schwefelwasserstoff umgesetzt wird, der in einer nachgeschalteten Strippung ausgetrieben werden kann. Die Strippung ist hier als in die Hydrodesulfurierung 23 integriert veranschaulicht und mit 23a bezeichnet. Sie wird hier auch als "dritter Trennschritt" bezeichnet.

**[0064]** Der entsprechend behandelte Herzschnitt wird, ungeachtet seiner abweichenden Zusammensetzung der Einfachheit halber weiter mit m bezeichnet, einer Aromatenextraktion 24 unterworfen, in welcher in an sich bekannter Weise eine Aromatenfraktion (die bereits erwähnte BTX-Fraktion) von den Aliphaten getrennt wird. Aus der Aromatenextraktion 24 wird im dargestellten Beispiel ein Aromatenstrom o ausgeführt, die Aliphaten sind nicht dargestellt. Stromab der Aromatenextraktion 24 ist im dargestellten Beispiel ein Trennschritt 25 vorgesehen. In diesem werden eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sechs Kohlenstoffatomen enthält, sowie eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich Kohlenwasserstoffe mit sieben und acht Kohlenstoffatomen enthält, gebildet. Erstere ist in Form eines Stoffstroms j, letztere in Form eines Stoffstroms p veranschaulicht. Der Stoffstrom p enthält überwiegend oder ausschließlich Alkylaromaten.

**[0065]** Der Stoffstrom p wird zusammen mit dem in einem Wasserstoffverdichter 31 verdichteten Wasserstoffstrom g, hier mit q bezeichnet, bei Bedarf einer Aufbereitung 32, die beispielsweise eine Erwärmung und ggf. eine Hydrierung umfassen kann, und anschließend in Form eines Einsatzstroms r einer Hydrodealkylierung 33 zugeführt. Wie in Form eines gestrichelten Flusspfeils veranschaulicht, kann der Wasserstoffstrom g dabei optional der thermischen Trennung 18 entnommen werden. Ein in der Hydrodealkylierung 33 gebildetes Produktgemisch wird abgekühlt (nicht gezeigt) und in Form eines Produktstroms s einer Phasentrennung 34 zugeführt. In der Phasentrennung 34 wird unter Verbleib einer Gasfraktion eine flüssige Fraktion abgeschieden. Die Gasfraktion, die überwiegend oder ausschließlich die in der

Hydrodealkylierung 33 von den alkylierten Aromaten abgespaltenen Alkane, Restwasserstoff und Spuren an Aromaten enthält, wird in Form eines Stoffstroms t abgezogen. Die flüssige Fraktion, die überwiegend Aromaten enthält, wird in Form eines Stoffstroms u in eine Stabilisierung 35 überführt, in der verbliebene Reste von Wasserstoff und Alkanen ausgetrieben werden. Die ausgetriebene Fraktion wird gasförmig in Form eines Stoffstroms v abgezogen.

**[0066]** Es verbleibt eine flüssige Fraktion, die in Form eines Stoffstroms w beispielsweise einer Lehmbehandlung 36 (engl: Clay Treatment) und, weiter mit w bezeichnet, anschließend einer Trennung 37 zugeführt werden kann. In der Trennung 37 kann eine Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich dealkylierte Aromaten enthält, in Form eines Stoffstroms x abgezogen werden. Nicht dealkylierte Aromaten können in Form eines überwiegend oder ausschließlich solche Aromaten enthaltenden Stoffstroms y in die Aufbereitung 32 oder die Hydrodealkylierung 33 zurückgeführt werden. Die Stoffströme t und v werden im dargestellten Beispiel zu einem Sammelstrom z vereinigt, der stromauf oder in der Verdichtung 15 mit dem Spaltgasstrom c vereinigt werden kann. Wenngleich hier nicht gezeigt, kann erforderlich sein, den Stoffstrom x einer Entschwefelung zuzuführen.

**[0067]** Die Bearbeitungsschritte 12 bis 18 werden im hier verwendeten Sprachgebrauch auch als Spaltgasaufbereitung, die Bearbeitungsschritte 21 bis 24 auch als Benzinaufbereitung bezeichnet. Wie bereits erwähnt, beruht die vorliegende Erfindung nun auf der Erkenntnis, dass ein Teil der Verfahrensschritte, die der eigentlichen Hydrodealkylierung 33 zugeordnet sind, funktional und/oder apparativ ähnlich oder identisch zu den in der Benzinaufbereitung implementierten Verfahrensschritten ist.

**[0068]** Insbesondere kann eine Abtrennung schwerer Komponenten, die in Figur 1 in Form des Trennschritts 22a in der Benzinaufbereitung veranschaulicht ist, d.h. von Komponenten mit neun und mehr Kohlenstoffatomen, auch zur Bearbeitung des Produktgemischs der Hydrodealkylierung 33 erforderlich und vorgesehen sein. Ferner hat die die Abtrennung der Fraktion, die überwiegend oder ausschließlich dealkylierte Aromaten enthält in der Trennung 37 einen ähnlichen Effekt und erfolgt vergleichbar wie der Trennschritt 25 in der Benzinaufbereitung. Alle Stoffströme, die stromab der Hydrodealkylierung 32 vorliegen, sind ferner schwefelbelastet und werden daher vorteilhafterweise einer Desulfurierung unterworfen, wie sie in Form der Hydrodesulfurierung 23 in der Benzinaufbereitung vorgenommen wird. Die Stabilisierung 35, in der verbliebene Reste von Wasserstoff und Alkanen ausgetrieben werden, ist ferner vergleichbar mit dem dritten Trennschritt 23a nach der Hydrodesulfurierung in der Benzinaufbereitung.

**[0069]** Daher wird in einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wie sie in Figur 2 veranschaulicht und insgesamt mit 200 bezeichnet ist, der Stoffstrom u stromauf der Trennung 22 und damit strom-

auf des ersten Trennschritts 22a, des zweiten Trennschritts 25 und des dritten Trennschritts 23a in den Benzinweg zurückgeführt. Alternativen zu einer Rückspeisung an der veranschaulichten Position wurden bereits oben mit den entsprechenden Vorteilen erläutert.

**[0070]** Durch die Rückspeisung des Stoffstroms u stromauf der Trennung 22 kann in dem Trennschritt 22a eine Abtrennung auch schwererer Komponenten aus dem Produktgemisch der Hydrodealkylierung 33 erfolgen, wie sie herkömmlicherweise in einer (in Figur 1 nicht gezeigten) Teerentfernungseinheit erfolgt. In dem Trennschritt 25 wird bewirkt, dass dealkylierte Aromaten, d.h. Benzol, in die Fraktion bzw. den Stoffstrom j übergehen, der hier daher zusätzlich mit x bezeichnet ist. Benzol kann daher aus der dem Trennschritt 25 abgezogenen und als Produkt bereitgestellt werden. Eine separate Benzoltrennung, wie sie in dem Trennschritt 37 gemäß Figur 1 erfolgt, ist daher nicht mehr erforderlich und kann eingespart werden. Entsprechendes gilt auch für den Stabilisierungsschritt 35, der hier zusammen mit der Entfernung von Schwefelwasserstoff in dem Trennschritt 23a erfolgt. Auch eine entsprechende Prozesseinheit kann daher eingespart werden.

**[0071]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden die zuvor erläuterten Trennschritte zwar mit zusätzlichen zu trennenden Gasgemischen beaufschlagt, und ggf. gehen beispielsweise Biphenyle in den Stoffstrom n über und damit verloren, jedoch wird Derartiges durch die eingesparten Prozesseinheiten überkompensiert.

### Patentansprüche

1. Verfahren (100) zur Herstellung von Benzol, bei dem ein kohlenwasserstoffhaltiges Einsatzgemisch unter Erhalt eines Spaltgases durch Dampfspalten (11) bearbeitet wird, das Spaltgas oder ein Teil hiervon unter Erhalt eines Pyrolysebenzins einer Spaltgasaufbereitung (12-18) unterworfen wird, das Pyrolysebenzin oder ein Teil hiervon unter Erhalt einer Alkylaromatenfraktion einer Benzinaufbereitung (21-25) unterworfen wird, die Alkylaromatenfraktion oder ein Teil hiervon unter Erhalt eines Produktgemischs einer Hydrodealkylierung (33) unterworfen wird, das Produktgemisch oder ein Teil hiervon unter Erhalt einer Kondensatfraktion einer Kondensation (34) unterworfen wird, und die Kondensatfraktion oder ein Teil hiervon in die Benzinaufbereitung (21-25) zurückgeführt wird.
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1, bei dem die Benzinaufbereitung (21-25) eine Herzschnittgewinnung (22, 22a) umfasst, in der ein Kohlenwasserstoffe mit sechs bis acht oder sechs bis neun Kohlenstoffatomen enthaltender und an anderen Kohlenwasserstoffen abgereicherter Herzschnitt gebildet wird.
3. Verfahren (100) nach Anspruch 2, bei dem der Herzschnitt oder ein Teil hiervon unter Erhalt eines hydrodesulfurierten Herzschnitts einer Hydrodesulfurierung (23) und Austreibung (23a) von Schwefelwasserstoff unterworfen wird.
4. Verfahren (100) nach Anspruch 3, bei dem der hydrodesulfurierte Herzschnitt oder ein Teil hiervon unter Erhalt einer Aromatengesamtfraktion einer Gesamtaromatenextraktion (24) unterworfen wird.
5. Verfahren (100) nach Anspruch 4, bei dem die Aromatengesamtfraktion oder ein Teil hiervon unter Erhalt der Alkylaromatenfraktion einer Alkylaromatenabtrennung (25) unterworfen wird.
6. Verfahren (100) nach Anspruch 5, bei dem zumindest ein Teil der Kondensatfraktion stromauf der Herzschnittgewinnung (22, 22a), der Hydrodesulfurierung (23) und/oder der Aromatenextraktion (24) in die Benzinaufbereitung (21-25) zurückgeführt wird.
7. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Benzinaufbereitung (21-25) eine Selektivhydrierung (21) stromauf der Herzschnittgewinnung (22, 22a) umfasst, wobei zumindest ein Teil der Kondensatfraktion stromauf der Selektivhydrierung (21) in die Benzinaufbereitung (21-25) zurückgeführt wird.
8. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine bei der Kondensation verbleibende gasförmige Fraktion oder ein Teil hiervon in die Spaltgasaufbereitung (11-18) zurückgeführt wird.
9. Verfahren (100) nach Anspruch 8, bei dem die Spaltgasaufbereitung (11-18) eine Kohlendioxidabscheidung (15, 16) umfasst, wobei zumindest ein Teil der gasförmigen Fraktion stromauf der Kohlendioxidabscheidung (15, 16) in die Spaltgasaufbereitung (11-18) rückgeführt wird.
10. Anlage zur Herstellung von Benzol, mit einem oder mehreren Spaltöfen, die dafür eingerichtet sind, einen kohlenwasserstoffhaltigem Einsatz unter Erhalt eines Spaltgases durch Dampfspalten (11) zu bearbeiten, wobei die Anlage Mittel aufweist, die dafür eingerichtet sind, das Spaltgas oder einen Teil hiervon unter Erhalt eines Pyrolysebenzins einer Spaltgasaufbereitung (12-18) zu unterwerfen, das Pyrolysebenzin oder einen Teil hiervon unter Erhalt einer Alkylaromatenfraktion einer Benzinaufbereitung (21-25) zu unterwerfen, die Alkylaromatenfraktion oder einen Teil hiervon unter Erhalt eines Produktgemischs einer Hydrodealkylierung (33) zu unterwerfen, das Produktgemisch oder einen Teil hiervon unter Erhalt einer Kondensatfraktion einer Kondensation (34) unterworfen wird, und die Kondensatfraktion oder ein Teil hiervon in die Benzinaufbereitung (21-25) zurückgeführt wird.

sation (34) zu unterwerfen, und die Kondensatfraktion oder einen Teil hiervon in die Benzinaufbereitung (21-25) zurückzuführen.

11. Anlage nach Anspruch 10, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 eingerichtet ist. 5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

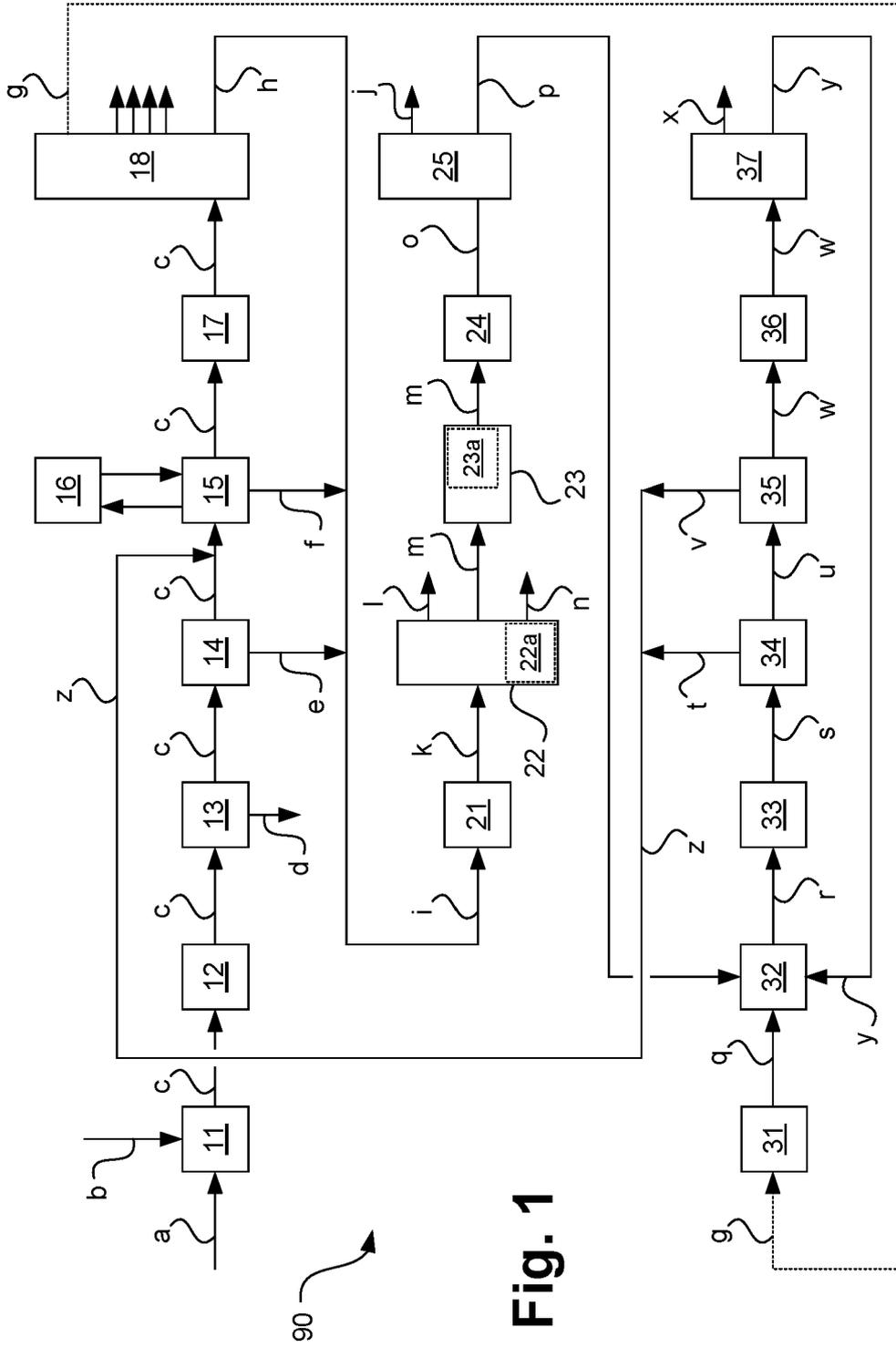


Fig. 1

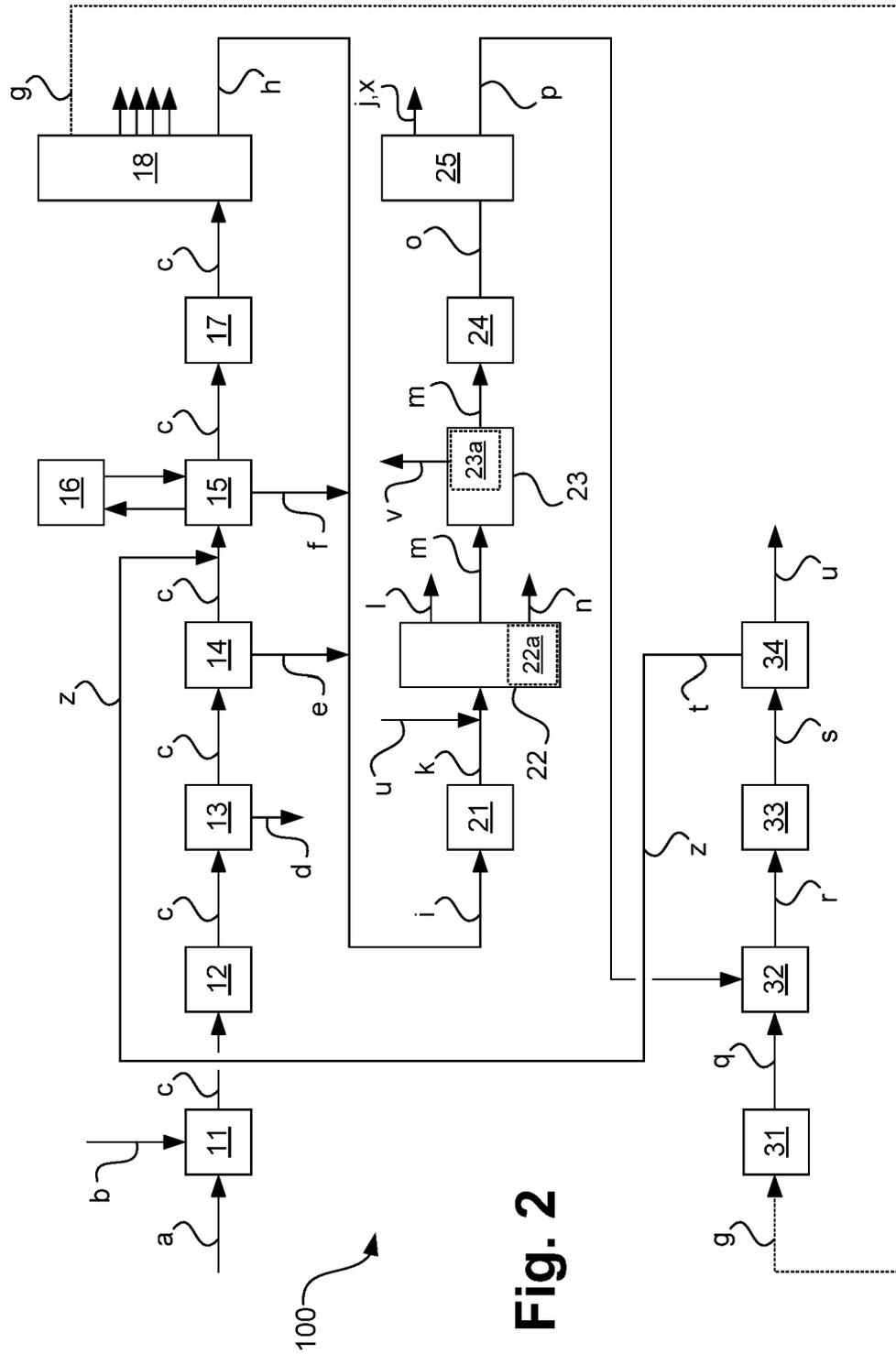


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 02 0498

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)
X, D	EP 3 293 169 A1 (LINDE AG [DE]) 14. März 2018 (2018-03-14) * Abbildung 1 * * Absätze [0035] - [0043] * -----	1-11	INV. C10G69/06 C07C4/18 C07C15/04
A	US 2019/161683 A1 (NARAYANASWAMY RAVICHANDER [IN] ET AL) 30. Mai 2019 (2019-05-30) * Abbildung 1 *	1-11	
A	CN 112 745 926 A (CHINA PETROLEUM & CHEM CORP ET AL.) 4. Mai 2021 (2021-05-04) * Abbildung 1 * * Anspruch 1 *	1-11	
A	US 4 244 808 A (LANG UDO ET AL) 13. Januar 1981 (1981-01-13) * Abbildung 5 * -----	1-11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C10G C07C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlussdatum der Recherche <b>10. März 2023</b>	Prüfer <b>Pardo Torre, J</b>
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	

2  
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

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

EP 22 02 0498

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

10-03-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
<b>EP 3293169</b>	<b>A1</b>	<b>14-03-2018</b>	<b>AU 2017324906 A1</b>	<b>18-04-2019</b>
			<b>BR 112019004650 A2</b>	<b>04-06-2019</b>
			<b>CN 109906214 A</b>	<b>18-06-2019</b>
			<b>EP 3293169 A1</b>	<b>14-03-2018</b>
			<b>EP 3510008 A1</b>	<b>17-07-2019</b>
			<b>ES 2849956 T3</b>	<b>24-08-2021</b>
			<b>HU E052707 T2</b>	<b>28-05-2021</b>
			<b>JP 2019526603 A</b>	<b>19-09-2019</b>
			<b>KR 20190046910 A</b>	<b>07-05-2019</b>
			<b>PH 12019500348 A1</b>	<b>20-01-2020</b>
			<b>RU 2019108271 A</b>	<b>08-10-2020</b>
			<b>US 2019367430 A1</b>	<b>05-12-2019</b>
			<b>WO 2018046671 A1</b>	<b>15-03-2018</b>
		<b>ZA 201902098 B</b>	<b>29-06-2022</b>	
<b>US 2019161683</b>	<b>A1</b>	<b>30-05-2019</b>	<b>CN 109642164 A</b>	<b>16-04-2019</b>
			<b>EP 3516012 A1</b>	<b>31-07-2019</b>
			<b>JP 6942178 B2</b>	<b>29-09-2021</b>
			<b>JP 2019533041 A</b>	<b>14-11-2019</b>
			<b>US 2019161683 A1</b>	<b>30-05-2019</b>
			<b>WO 2018055555 A1</b>	<b>29-03-2018</b>
<b>CN 112745926</b>	<b>A</b>	<b>04-05-2021</b>	<b>KEINE</b>	
<b>US 4244808</b>	<b>A</b>	<b>13-01-1981</b>	<b>DE 2840986 A1</b>	<b>03-04-1980</b>
			<b>FR 2436811 A1</b>	<b>18-04-1980</b>
			<b>IT 1123730 B</b>	<b>30-04-1986</b>
			<b>JP S5589391 A</b>	<b>05-07-1980</b>
			<b>US 4244808 A</b>	<b>13-01-1981</b>

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 3293169 A1 [0055]

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- Benzene. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 15. Juni 2000 [0012]
- Hydrogen. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 15. Juni 2000 [0012]
- Ethylene. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 15. April 2007 [0012]