



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**14.09.2022 Patentblatt 2022/37**

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

(21) Anmeldenummer: **21161729.5**

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

(22) Anmeldetag: **10.03.2021**

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

- **Bruder, David**  
**81379 München (DE)**
- **Hörenz, Michael**  
**81373 München (DE)**
- **Glomb, Stefan**  
**81377 München (DE)**
- **Eberstein, Christopher**  
**94148 Kirchham (DE)**

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

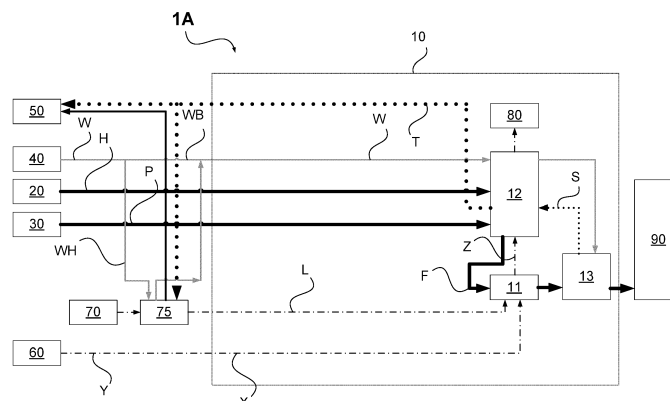
(74) Vertreter: **DehnsGermany Partnerschaft von Patentanwälten**  
**Postfach 33 04 29**  
**80064 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Zellhuber, Mathieu**  
**82152 Martinsried (DE)**

(54) **VERFAHREN UND ANLAGE ZUM STEAMCRACKEN**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Umsetzung eines oder mehrerer Kohlenwasserstoffe durch Steamcracken, bei dem ein oder mehrere Einsatzströme (F), der oder die den einen oder die mehreren Kohlenwasserstoffe (H) enthalten, unter Erhalt eines oder mehrerer Produktströme (C) durch eine oder mehrere Strahlungszonen (11) eines oder mehrerer Cracköfen (10) geführt werden, bei dem die eine oder die mehreren Strahlungszonen (11) durch Verfeuern von Heizgas (X) mit Verbrennungsluft (L) beheizt werden, bei dem zumindest ein Teil der Verbrennungsluft (L) einer Verbrennungsluftvorwärmung (75) unterworfen wird, bei

dem Dampf (S, T) aus Speisewasser (W) erzeugt wird, und bei dem das Speisewasser (W) in einer oder mehreren Konvektionszonen (12) des einen oder der mehreren Cracköfen (10) einer Speisewasservorwärmung unterworfen wird. Die Verbrennungsluftvorwärmung (75) wird zumindest zum Teil und/oder zumindest zeitweise unter Verwendung von Wärme durchgeführt, die zumindest einem Teil des Speisewassers (W) stromauf der Speisewasservorwärmung entzogen wird. Eine entsprechende Anlage ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung.



**Fig. 5**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zum Steamcracken gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche.

### Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Die vorliegende Erfindung betrifft das Steamcracken (Dampfspalten, thermisches Spalten, Dampfcracken usw.), das zur Herstellung von Olefinen und anderen Grundchemikalien eingesetzt wird, und das beispielsweise im Artikel "Ethylene" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Online-Publikation vom 15. April 2009, DOI: 10.1002/14356007.a10\_045.pub2, beschrieben ist. Bezüglich der nachfolgend verwendeten Begriffe wird auch auf entsprechende Fachliteratur verwiesen.

**[0003]** Für die Einleitung und Aufrechterhaltung der endothermen Reaktionen wird beim Steamcracken die erforderliche Wärmeenergie typischerweise durch die Verbrennung von Heizgas in einer Brennkammer bereitgestellt, die die sog. Strahlungszone eines Spalt- oder Crackerofens bildet, und durch die sog. Coils (Spaltrohre) geführt sind, durch welche ein umzusetzendes Kohlenwasserstoff-Dampf-Gemisch unter Erhalt eines Produktgemischs, des sog. Roh- oder Spaltgases, geleitet wird. In den häufigsten Anwendungen wird die für die Verbrennung erforderliche Verbrennungsluft ohne Vorwärmung in die Strahlungszone geführt (sog. Naturzug) und dort zusammen mit dem Heizgas verbrannt. Eine vereinfachte Darstellung ist in der beigefügten Figur 1 gezeigt, die nachfolgend vorab mit den entsprechenden Bezugszeichen erläutert wird.

**[0004]** Ein in Figur 1 gezeigter Crackerofen 10 bzw. eine entsprechende Ofeneinheit (hier auch kurz als Spaltofen oder Ofen bezeichnet) weist die Strahlungszone 11 und eine Konvektionszone 12 auf. Eine Anlage zum Steamcracken kann mehrere entsprechender Crackeröfen 10 enthalten. Nachfolgend als zentral bezeichnete Anlagenkomponenten bzw. Einheiten stehen mehreren Crackeröfen 10 zur Verfügung, dezentrale Einheiten sind für jeden Crackerofen 10 gesondert vorgesehen.

**[0005]** Mittels einer beispielhaft gezeigten zentralen Einsatzvorwärmung 20 und einer zentralen Prozessdampferzeugung 30 werden ein Kohlenwasserstoffeinsatz H erwärmt und Prozessdampf P bereitgestellt, welche in der Konvektionszone 12 in an sich bekannter Weise (siehe insbesondere auch Figur 4) weiter erwärmt, zu einem Speisestrom F vereinigt und danach der Strahlungszone 11 zugeführt werden. Die Darstellung gemäß Figur 1 ist, wie erwähnt, stark vereinfacht und lediglich beispielhaft. So kann beispielsweise auch in einer sogenannten Passregelung ein entsprechender Speisestrom bereits im Bereich der Konvektionszone 12 auf mehrere Teilströme aufgeteilt werden, die dann getrennt voneinander vorgewärmt und schließlich durch Gruppen von jeweils beispielsweise sechs oder acht Spaltrohren in der Strahlungszone 11 geführt werden können. Hier und nachfolgend können jederzeit zentrale durch dezentrale Einheiten ersetzt werden und umgekehrt.

**[0006]** Der Strahlungszone 11 wird das Spaltgas C entnommen, das mittels eines oder mehrerer Spaltgaskühler 13, die insbesondere als bekannte Quenchkühler ausgebildet sein können bzw. solche Quenchkühler umfassen können, und die zugleich auch als Dampferzeuger fungieren können, abgekühlt und danach einer zentralen Spaltgastrennung und Spaltgasaufbereitung 90 zugeführt wird. Weitere Details zu entsprechenden Quenchkühlern, die insbesondere als klassische Quenchkühler oder sogenannte Linear Quench Exchanger (LQE) ausgeführt sein können, sind unten erläutert. Die Erfindung ist nicht durch eine spezifische Ausgestaltung beschränkt.

**[0007]** Mittels eines zentralen Speisewassersystems 40 wird Speisewasser W bereitgestellt, das im dargestellten Beispiel ebenfalls in der Konvektionszone 12 erwärmt und danach mittels des einen oder der mehreren Spaltgaskühler 13 unter Erhalt von Hochdruck- oder Superhochdrucksattdampf S (nachfolgend auch kurz als Sattdampf bezeichnet) weiter erhitzt und schließlich verdampft wird. Der Sattdampf S wird im dargestellten Beispiel in der Konvektionszone 12 unter Erhalt von überhitztem Hochdruckdampf oder überhitztem Superhochdruckdampf T (nachfolgend vereinfacht auch als überhitzter Dampf bezeichnet) überhitzt und in ein zentrales Dampfsystem 50 eingespeist.

**[0008]** Mittels eines zentralen Heizgassystems 60, dem eine mögliche zentrale Heizgasvorwärmung 65 nachgeschaltet ist, in der Prozess- oder Hilfsmittel wie beispielsweise überhitzter Dampf auf Hoch-, Mittel- oder Niederdruck, Wasser und/oder Quenchöl, aber auch elektrischer Strom als Heizmedien bzw. Wärmequellen genutzt wird, wird Speiseheizgas Y zu vorgewärmtem Heizgas X erwärmt und der Strahlungszone 11 bzw. nicht gesondert veranschaulichten Brennern in dieser zugeführt.

**[0009]** Verbrennungsluft L gelangt in der hier veranschaulichten Ausgestaltung über eine Luftansaugung 79 in die Strahlungszone 11 bzw. die dortigen Brenner. Aus der Strahlungszone 11 wird Rauchgas Z ausgeführt, das die Konvektionszone 12 passiert und danach in eine Rauchgasbehandlung bzw. an einen zentralen oder dezentralen Kamin 80 mit oder ohne Gebläse und hierüber an die Atmosphäre abgegeben wird.

**[0010]** Die in Figur 1 veranschaulichte zentrale Heizgasvorwärmung 65 ist optional. Eine dezentrale Heizgasvorwärmung (d.h. separat für die einzelnen Crackeröfen 10 bzw. Ofeneinheiten) ist ebenfalls möglich. Ähnliches gilt für die Einsatzvorwärmung und die Prozessdampferzeugung, die alternativ zur zentralen Ausführung auch dezentral ausgeführt

werden können.

**[0011]** Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass die Vorwärmung der Verbrennungsluft als effizienzsteigernde Maßnahme angewandt werden kann, um Heizgas einzusparen und auf diese Weise den Energieverbrauch sowie Kohlendioxidemissionen zu senken. Entsprechende Ausgestaltungen sind in den Figuren 2 und 3 dargestellt, wobei Figur 2 eine zentrale und Figur 3 eine dezentrale Verbrennungsluftverdichtung 70 und Verbrennungsluftvorwärmung 75 zeigt.

**[0012]** Generell kann hier der Begriff der "Effizienzsteigerung" insbesondere als Erhöhung des sogenannten spezifischen Wirkungsgrads verstanden werden, worunter wiederum der Anteil der eingebrachten Heizgasenergie verstanden wird, der sich in den gebildeten Produkten, hier dem Spaltgas, wiederfindet. Dieser unterscheidet sich vom sogenannten thermischen Wirkungsgrad, also den Anteil der Unterfeuerungsleistung, der sich in den Produkten und anderen Medien (Spaltgas oder Dampf) wiederfindet, oder, anders ausgedrückt, jenem Anteil, der nicht als Wärmeverlust in die Umgebung (über Kamin, warme Oberflächen, Leckagen) verloren geht. Der spezifische Wirkungsgrad wird durch die Luftvorwärmung gesteigert, weil weniger Unterfeuerung bei gleicher Spaltgasmenge erforderlich ist. Der thermische Wirkungsgrad dagegen steigt nicht zwangsläufig durch die Anwendung von Luftvorwärmung an, da dieser ggf. auch durch eine minimale Rauchgasabgabetemperatur limitiert ist, siehe unten.

**[0013]** Nachfolgend sind zentral und dezentral angeordnete Einheiten mit denselben Bezugszeichen versehen. Die Art der Anordnung ergibt sich aus der veranschaulichten Positionierung innerhalb oder außerhalb des jeweiligen Crackerofens 10 bzw. der Ofeneinheit, wobei eine dezentrale Anordnung bei einer Positionierung innerhalb und eine zentrale Anordnung bei einer Positionierung außerhalb vorliegt. Beispielsweise kann auch bei dezentraler Verbrennungsluftvorwärmung 75 eine zentrale Verbrennungsluftverdichtung 70 erfolgen. Die Verbrennungsluft wird nachfolgend auch kurz als Luft, ihre Vorwärmung auch kurz als Luftvorwärmung bezeichnet.

**[0014]** In der Luftvorwärmung kann beispielsweise eine Nutzung von überhitztem oder je nach Anwendungsfall auch nicht überhitztem Dampf auf Hoch-, Mittel- oder Niederdruck, Washwasser und/oder Quenchöl als Heizmedien oder von elektrischem Strom als Wärmequelle erfolgen. Auch die Nutzung direkt übertragener Wärme des Abgasstroms Z als Wärmequelle ist möglich. Die in den Figuren gezeigte Nutzung von überhitztem Hochdruck- oder Superhochdruckdampf T ist optional und wird je nach gewählter Vorwärmtemperatur vorgenommen.

**[0015]** Die vorgewärmte Verbrennungsluft kann also, nochmals zusammengefasst, zentral oder dezentral bereitgestellt werden. Je nach Verfügbarkeit und gewünschter Vorwärmtemperatur können als Heizmedien (überhitzter) Superhochdruckdampf (SHD), (überhitzter) Hochdruckdampf (HD), (überhitzter) Mitteldruckdampf (MD), (überhitzter) Niederdruckdampf (ND), Sattdampf, Washwasser oder Quenchöl, beispielsweise aus einer zentralen Spaltgastrennung und Spaltgasaufbereitung, oder Rauchgas nach dem Austritt aus der Konvektionszone, typischerweise bei einer dezentralen Anordnung der Luftvorwärmung, verwendet werden.

**[0016]** Unter Niederdruckdampf soll hier allgemein Dampf auf einem Druckniveau von 1 bis 10 bar (abs.), insbesondere von 4 bis 8 bar (abs.), unter Mitteldruckdampf Dampf auf einem Druckniveau von 10 bis 30 bar (abs.), insbesondere von 15 bis 25 bar (abs.), unter Hochdruckdampf Dampf auf einem Druckniveau von 30 bis 60 bar (abs.), insbesondere von 35 bis 50 bar (abs.), und unter Superhochdruckdampf Dampf auf einem Druckniveau von 60 bis 175 bar (abs.), insbesondere von 80 bis 125 bar (abs.), verstanden werden. Ist nachfolgend von verkürzt von Hochdruckdampf die Rede, soll hierunter auch Superhochdruckdampf verstanden werden.

**[0017]** Der Begriff Superhochdruckniveau bezeichnet das für Superhochdruckdampf angegebene Druckniveau, unabhängig davon, ob dieses für den Dampf selbst oder beispielsweise für Speisewasser, das zur Bildung des Dampfes verwendet wird, angegeben ist. Entsprechendes gilt für die Begriffe Hochdruckniveau, Mitteldruckniveau und Niederdruckniveau.

**[0018]** Zur Bereitstellung des für die Durchströmung der in der Luftvorwärmung eingesetzten Luftvorwärmer benötigten Druckniveaus bzw. zum Ausgleich eines entsprechenden Druckverlusts kann die aus der Atmosphäre angesaugte Luft mittels eines angetriebenen Gebläses in der Luftverdichtung verdichtet werden, und zwar entweder zentral oder dezentral. Es ist alternativ dazu auch möglich, ein stromab der Luftvorwärmung angeordnetes Gebläse zu verwenden, das einen entsprechenden Sog bewirkt.

**[0019]** Die Luftvorwärmung ist im Zusammenhang mit dem Steamcracken beispielsweise in der US 3,426,733 A, der EP 0 229 939 B1 und der EP 3 415 587 A1 beschrieben, sowie im Zusammenhang mit der Luftvorwärmung in Boilern beispielsweise in der DE 10 2004 020 223 A1 und der WO 2013/178446 A1.

**[0020]** Durch die Luftvorwärmung wird allgemein die Wärmeübertragung in der Strahlungszone verbessert und der Brennstoffbedarf des Ofens reduziert. Somit muss bei gleicher Ofenlast (hier insbesondere als gleiche Einsatzmenge an Kohlenwasserstoffen und gleiche Spaltschärfe verstanden, woraus ein gleicher Produktstrom resultiert) insgesamt weniger Feuerungsleistung aufgewendet werden und gleichzeitig wird ein größerer relativer Anteil der Abgasenergie an das Prozessgas übertragen. Daraus folgt einerseits, dass der Abgasmassenstrom verringert wird, wodurch die Verbrennungsemissionen und die Restwärmeabgabe aus dem Kamin an die Atmosphäre reduziert werden. Andererseits folgt daraus, dass die im Rauchgas am Austritt der Strahlungszone verbleibende Wärmemenge gegenüber einem nicht vorgewärmten Ofen deutlich reduziert ist.

**[0021]** Dies führt bei steigenden Vorwärmtemperaturen jedoch zu Schwierigkeiten bei Auslegung und Betrieb der

stromab gelegenen Konvektionszone. In dieser wird der zu spaltende Kohlenwasserstoffeinsatz und der dazugehörige Prozessdampf bis auf Temperaturen von 550 bis 700°C vorgewärmt. Zudem wird dem Ofen zugeführtes Kesselspeisewasser auf Hoch- oder Superhochdruckniveau normalerweise bei 100 bis 110°C in der Konvektionszone vorgewärmt, im Spaltgaskühler verdampft und schließlich in der Konvektionszone überhitzt.

**[0022]** Durch die reduzierte Verfügbarkeit von Abgaswärme in der Konvektionszone ergibt sich bei hohen Luftvorwärmtemperaturen die Schwierigkeit, dass bei gleicher Ofenlast die benötigte Vorwärmleistung für den Kohlenwasserstoffeinsatz und den Prozessdampf, sowie die benötigte Überhitzungsleistung für den unverändert im Spaltgaskühler erzeugten Sattedampfstrom nahezu konstant sind. Die fehlende Abgaswärme macht sich somit bei der Speisewasservorwärmung bemerkbar, die teilweise eingeschränkt werden muss. Darüber hinaus sinken bei den oberen Konvektionsbündeln in der Konvektionszone, d.h. den hier angeordneten Wärmetauscheinheiten zur Übertragung von Wärme des Rauchgases an die jeweils zu erwärmenden Medien, die Eintrittstemperaturen des Rauchgases deutlich gegenüber dem nicht vorgewärmten Ofen. Durch die sich verkleinernden Temperaturgradienten wird somit der Flächenbedarf der Konvektionsbündel deutlich größer, was einen höheren baulichen Aufwand erfordert.

**[0023]** In der EP 3 415 587 A1 soll dieses Problem beispielsweise durch ein Wärmepumpensystem oder durch Einspeisung von nicht vorgewärmtem Speisewasser in die Dampftrommel gelöst werden. Die dort vorgeschlagenen Lösungen führen jedoch zu hohem apparativen Mehraufwand durch die erforderliche Wärmepumpe und/oder zu deutlich veränderten Ausführungsformen der Spaltgaskühlung und Dampferzeugung, für die insbesondere der Nachweis der dauerhaften Betreibbarkeit bisher noch nicht erbracht wurde.

**[0024]** Die vorliegende Erfindung soll daher Lösungen bereitstellen, mit der ein wirtschaftlicher, effizienter und praktisch umsetzbarer Betrieb einer Anlage zum Steamcracken möglich ist.

#### Offenbarung der Erfindung

**[0025]** Die vorliegende Erfindung schlägt vor diesem Hintergrund ein Verfahren und eine Anlage zum Steamcracken gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche vor. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

**[0026]** Durch die vorliegende Erfindung lassen sich eine ausgesprochen kompakte Bauweise der Konvektionszone, hier betrachtet als Summe der Höhen der einzelnen Konvektionsbündel im Rauchgaskanal, eine einfache Konstruktion der Kaminleitungen stromab der Konvektionszone sowie eine maximale Rauchgaswärmenutzung, d.h. niedrige Rauchgasaustrittstemperatur am Kamin, realisieren. Es lässt sich ferner ein minimaler Brennstoffbedarf bei maximal möglicher Produktion von überhitztem Hochdruck- oder Superhochdruckdampf erzielen.

**[0027]** Kern der vorliegenden Erfindung ist die dabei Nutzung von Speisewasser, d.h. Wasser, das anschließend zur Erzeugung von (Super-)Hochdruckdampf verwendet wird, für die Vorwärmung von Verbrennungsluft.

**[0028]** Die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen, die zu einer Zwischenabkühlung von Speisewasser führen, widersprechen der geläufigen Praxis, bei der Dampfproduktion aus Feuerungsanlagen eine maximale Speisewasservorwärmung anzustreben. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird dabei bewusst auf eine maximale Dampferzeugung verzichtet, um eine maximale Energierückgewinnung aus dem Rauchgas bei minimalem baulichen Zusatzaufwand zu erreichen. Der Rückgang in der Dampfproduktion ist dabei im Lichte zukünftiger Ausgestaltungen von Steamcrackinganlagen besonders vorteilhaft, da dies einen vermehrten Einsatz von bevorzugt sogenanntem grünem Strom für den Antrieb von Maschinen ermöglicht. Auf diese Weise können die Kohlendioxidemissionen der Anlage insgesamt noch weiter reduziert werden. Der Feuerungseinsatz wird bei maximaler Energieausbeute aus der verbleibenden Feuerung fossiler Brennstoffe minimiert.

**[0029]** Während bei einer reinen Dampfboileranwendung lediglich der Brennstoffausnutzungsgrad für Dampferzeugung optimiert werden soll, ist die Situation bei einem Dampfspaltofen ungleich schwieriger. Die Dampferzeugung ist hier, nach der chemischen Konversion des Einsatzstoffes, nur die sekundäre Aufgabe bzw. ein Erfordernis, um die anfallenden Wärmemengen zu nutzen. Dementsprechend wird durch den Einsatz der erfindungsgemäßen Maßnahmen beim Dampfspaltofen nicht nur der Brennstoffnutzungsgrad insgesamt beeinflusst, sondern insbesondere auch die Verteilung zwischen chemischer Prozessnutzung und Dampferzeugung. Daher lassen sich auch Maßnahmen, die bei reinen Dampfboilern vorgesehen sind, nicht ohne weiteres auf Steamcrackinganlagen übertragen.

**[0030]** In weiteren erfindungsgemäßen und nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltungen kann alternativ oder zusätzlich zu den erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen eine Nutzung von ofeneigenem (Super-)Hochdrucksattedampf als Heizmedium in Luftvorwärmung, eine kombinierte Nutzung von Speisewasser und (Super-) Hochdrucksattedampf als Heizmedien in der Luft- und/oder Heizgasvorwärmung, eine Nutzung von (Super-)Hochdrucksattedampf als Heizmedium für die Prozessdampfüberhitzung, und eine Nutzung von (Super-)Hochdrucksattedampf als Heizmedium für Einsatzvorwärmung oder eine kombinierte Nutzung von (Super-) Hochdrucksattedampf als Heizmedium für die Prozessdampfüberhitzung und die Einsatzvorwärmung erfolgen.

**[0031]** Die vorliegende Erfindung geht von einem Verfahren zur Umsetzung eines oder mehrerer Kohlenwasserstoffe durch Steamcracken aus, bei dem ein oder mehrere Einsatzströme, der oder die den einen oder die mehreren Kohlen-

wasserstoffe enthalten, unter Erhalt eines oder mehrerer Produktströme, d.h. Spaltgasströme oder Rohgasströme, durch eine oder mehrere Strahlungszonen eines oder mehrerer Crackeröfen geführt werden, bei dem die eine oder die mehreren Strahlungszonen durch Verfeuern von Heizgas mit Verbrennungsluft beheizt werden, bei dem zumindest ein Teil der Verbrennungsluft einer Verbrennungsluftvorwärmung unterworfen wird, bei dem Dampf aus Speisewasser erzeugt wird, und bei dem das Speisewasser in einer oder mehreren Konvektionszonen des einen oder der mehreren Cracköfen einer Speisewasservorwärmung unterworfen wird. Wie erwähnt, kann das Führen der Einsatzströme in einer oder mehreren Konvektionszonen auch parallel erfolgen, z.B. entsprechend der Aufteilung in mehrere Gruppen von Spaltrohren in der Strahlungszone.

**[0032]** Erfindungsgemäß wird, wie bereits angesprochen, die Verbrennungsluftvorwärmung unter Verwendung von Wärme durchgeführt, die zumindest einem Teil des Speisewassers stromauf der Speisewasservorwärmung entzogen wird.

**[0033]** Die Erfindung umfasst damit eine Zuführung abgekühlten Speisewassers zur Konvektionszone des oder der Öfen, wodurch eine möglichst starke Abkühlung und somit energetische Nutzung des Rauchgases erreicht werden kann. Für die Kühlung des Speisewassers ergeben sich verschiedene Varianten, bei denen insbesondere die Heizgasqualität zur Vermeidung von Korrosion im Abgastrakt berücksichtigt werden kann. Neben der Nutzung des den Öfen zugeführten Speisewassers als Heizmedium in einer zentralen oder dezentralen Luftwärmung kann auch, wie nachfolgend erläutert, das Speisewasser zusätzlich oder gemäß nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltungen alternativ, als Heizmedium in einer zentralen oder dezentralen Heizgasvorwärmung erfolgen. Eine Abkühlung kann alternativ und gemäß nicht erfindungsgemäßer Ausgestaltungen außerhalb des Ofenprozesses erfolgen.

**[0034]** Die Speisewasservorwärmung kann insbesondere derart durchgeführt werden, dass nur ein, insbesondere einstellbarer, erster Teil des Speisewassers in einem oder mehreren Verbrennungsluftvorwärmern einem Wärmetausch mit zumindest einem Teil der zu erwärmenden Verbrennungsluft und optional in einem oder mehreren Heizgasvorwärmern einem Wärmetausch mit zumindest einem Teil des zu erwärmenden Heizgases verwendet wird und ein, insbesondere einstellbarer, zweiter Teil des Speisewassers als Bypassströmung um den Verbrennungsluftvorwärmer und ggf. den Heizgasvorwärmer geführt wird. Der erste und zweite Teil können anschließend wieder vereinigt und danach der Speisewasservorwärmung in der Konvektionszone zugeführt werden.

**[0035]** Insbesondere bei einer vorgesehenen Einstellbarkeit des ersten und/oder zweiten Teils des Speisewassers kann auf diese Weise eine Regelung der Temperatur des Speisewassers am Eintritt in die Konvektionszone durchgeführt werden. Letztere kann im Betrieb insbesondere dazu genutzt werden, um die Austrittstemperatur des Rauchgases im Kamin zu steuern. Letztere hängt in einer solchen Prozessführung stark von der Temperatur des Speisewassers ab.

**[0036]** Mit solch einer Temperaturregelung ist es somit insbesondere möglich, z.B. bei veränderlicher Heizgaszusammensetzung, die zu einer Korrosionsgefahr bei teilweisem Auskondensieren des Rauchgases führen könnte, die Rauchgastemperatur im Betrieb, insbesondere temporär, nach oben zu verschieben. In diesem Fall wird weniger Luftvorwärmung über Speisewasser erreicht, die entsprechende Leistung kann von nachfolgenden Luftvorwärmstufen kompensiert werden, oder über eine erhöhte Brennstoffzugabe im Ofen. Im optimalen Betriebsfall mit bevorzugter Heizgaszusammensetzung wird eine maximale Vorwärmleistung mittels Speisewassers angestrebt, die somit auch zu einer maximalen Rauchgaswärmenutzung führt.

**[0037]** Mit anderen Worten kann durch Einstellen eines in der Luftvorwärmung und optional auch der Heizgasvorwärmung verwendeten Anteils des Speisewassers, die insbesondere auf Grundlage einer zu erzielenden oder detektierten Temperatur eines Rauchgases in der Konvektionszone stromab der Speisewasservorwärmung erfolgen kann, die Temperatur des Rauchgases eingestellt werden.

**[0038]** Generell kommt die vorliegende Erfindung in einem Verfahren zum Einsatz, bei dem der aus dem Speisewasser erzeugte Dampf überhitzten oder nicht überhitzten Hoch- oder Superhochdruckdampf umfasst, der aus dem Speisewasser stromab von der Speisewasservorwärmung gebildet wird. Zumindest ein Teil des Speisewassers kann dabei nach der Speisewasservorwärmung unter Verwendung von Wärme, die zumindest einem Teil des einen oder der mehreren Produktströme, insbesondere in einem oder mehreren Spaltgas- bzw. Quenchkühlern, entzogen wird, unter Erhalt von Hoch- oder Superhochdrucksattdampf einer Speisewasserverdampfung unterworfen werden. Zumindest ein Teil des Hoch- oder Superhochdrucksattdampfs kann dann in der einen oder in den mehreren Konvektionszonen zum Erhalt des (überhitzten) Hoch- oder Superhochdruckdampfs einer Dampfüberhitzung unterworfen werden. Zu weiteren Details sei auf die Erläuterungen zu den Figuren 1 bis 4 verwiesen.

**[0039]** Generell kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung dabei die Verbrennungsluftvorwärmung unter Verwendung von Wärme durchgeführt werden, die einem Teil des (überhitzten) Hoch- oder Superhochdruckdampfs entzogen wird. Dies erfolgt in erfindungsgemäßen Ausgestaltungen zusätzlich zur Verwendung der Wärme des Speisewassers, in nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltungen alternativ dazu.

**[0040]** Wie bereits mehrfach erwähnt, kann das Heizgas einer Heizgasvorwärmung unterworfen werden, die ebenfalls unter Verwendung von Wärme durchgeführt werden kann, die zumindest einem Teil des Speisewassers stromauf der Speisewasservorwärmung entzogen wird. Dies erfolgt in erfindungsgemäßen Ausgestaltungen zusätzlich zur Verbrennungsluftvorwärmung und kann in nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltungen alternativ dazu erfolgen.

**[0041]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung erfolgt die Speisewasservorwärmung in einem oder in mehreren Rauchgaskanälen in der einen oder in den mehreren Konvektionszonen, wobei die Speisewasservorwärmung insbesondere auf einem niedrigeren Temperaturniveau durchgeführt wird, als es für die Dampfüberhitzung zum Erhalt des überhitzten Hoch- oder Superhochdruckdampfs, eine Prozessdampferhitzung zur Bereitstellung von Prozessdampf, der zur Bildung des einen oder der mehreren Einsatzströme verwendet wird, und einen Großteil der Einsatzerhitzung des einen oder der mehreren Einsatzströme durchgeführt wird. Insbesondere erfolgt die Speisewasservorwärmung nahe dem Ende oder ganz am Ende des Rauchgaskanals, aus dem das dann entsprechend abgekühlte Rauchgas ausströmt, also an einer Stelle stromab (in Flussrichtung des Rauchgases) höchstens eine weitere Wärmerückgewinnung aus dem Rauchgas erfolgt. Auf diese Weise lässt sich die Austrittstemperatur des Rauchgases aus der Konvektionszone besonders vorteilhaft steuern.

**[0042]** Das Speisewasser kann im Rahmen der Erfindung insbesondere auf einem Temperaturniveau von 80 bis 140°C, insbesondere mittels eines zentralen oder dezentralen Speisewassersystems, bereitgestellt werden und das Speisewasser kann bei der Verbrennungsluftvorwärmung auf ein Temperaturniveau von 40 bis 100°C, bis 95°C, bis 90°C oder bis 85°C abgekühlt werden.

**[0043]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann das Speisewasser der Verbrennungsluftvorwärmung auf einem Druckniveau von 30 bis 60 bar (abs.), insbesondere von 35 bis 50 bar (abs.), oder von 60 bis 175 bar (abs.), insbesondere von 80 bis 125 bar (abs.), zugeführt und ohne zusätzliche Druckbeaufschlagung auf diesem Druckniveau der Speisewasservorwärmung unterworfen werden. Alternativ kann das Speisewasser der Verbrennungsluftvorwärmung auf einem Druckniveau von 20 bis 60 bar (abs.), insbesondere zwischen 25 bis 50 bar (abs.) oder zwischen 30 und 40 bar (abs.) zugeführt danach und nach einer zusätzlichen Druckbeaufschlagung auf einem Druckniveau von 30 bis 60 bar (abs.), insbesondere von 35 bis 50 bar (abs.), oder von 60 bis 175 bar (abs.), insbesondere von 80 bis 125 bar (abs.), der Speisewasservorwärmung unterworfen werden. In letzterem Fall kann das Speisewasser nach der Verbrennungsluftvorwärmung vorteilhafterweise mittels einer oder mehrerer Pumpen auf einen entsprechenden Druck gebracht werden.

**[0044]** Die Vorwärmung der Luft kann also direkt mit Speisewasser auf (Super-) Hochdruckniveau erfolgen, sodass das zwischengekühlte Speisewasser im Anschluss direkt der Konvektionszone zugeführt werden kann. Alternativ kann die Luftvorwärmung auch mit Speisewasser auf einem reduzierten Druckniveau stattfinden wie erläutert. Letzteres führt zu einem deutlich niedrigeren Auslegungsdruck des dazugehörigen Luftvorwärmers und damit zu geringerem baulichem Aufwand für diesen Apparat.

**[0045]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können, wie ebenfalls bereits angesprochen, insbesondere mehrere Crackeröfen verwendet werden, die mittels eines zentralen Speisewassersystems mit dem Speisewasser versorgt werden, wobei die Verbrennungsluftvorwärmung für jeden der mehreren Crackeröfen gesondert (dezentrale Verbrennungsluftvorwärmung) oder für die mehreren Crackeröfen gemeinsam (zentrale Verbrennungsluftvorwärmung) durchgeführt werden kann.

**[0046]** Erfindungsgemäße und nicht erfindungsgemäße Ausgestaltungen werden weiter unten und dabei insbesondere unter Bezugnahme auf die Figuren 5 bis 22 weiter erläutert.

**[0047]** Die Verbrennungsluftvorwärmung kann in allen Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung insbesondere in mehreren Stufen vorgenommen werden, wobei beispielsweise in einer ersten Stufe Speisewasser als Heizmedium, in einer zweiten Stufe Mitteldruckdampf als Heizmedium und in einer dritten Stufe gesättigter oder überhitzter (Super-) Hochdruckdampf als Heizmedium verwendet werden kann.

**[0048]** Weitere mögliche Heizarten bzw. Heizmedien (u.a. elektrischer Strom) können ebenfalls verwendet werden. Des Weiteren können auch mehr oder weniger als die erwähnten Vorwärmstufen vorgesehen werden. Es ist dabei ebenfalls möglich, ablaufendes Heizmedium (insbesondere gebildetes Kondensat) in vorangegangenen Stufen (d.h. auf niedrigerem Temperaturniveau) ganz oder teilweise erneut zu nutzen, bevorzugt unmittelbar auf dem selben Druckniveau in einem Wärmetauscher, in dem das zuvor gebildete Kondensat weiter untergeköhlt wird, oder nach teilweiser Entspannung auf ein reduziertes Druckniveau und Zugabe von überhitztem Dampf auf diesem reduzierten Druckniveau. Vorteilhaft ist ggf. auch eine Rückführung von Kondensat in die Dampferzeugung entweder durch entsprechende Höhenanordnung (oberhalb der Dampftrommel, d.h. Naturumlauf) oder durch Druckerhöhung (z.B. unter Verwendung einer Pumpe).

**[0049]** Das entsprechend abgekühlte Speisewasser wird daraufhin der Konvektionszone zugeführt, allerdings bei merklich reduzierter Temperatur.

**[0050]** Die Erfindung betrifft auch eine Anlage zur Umsetzung eines oder mehrerer Kohlenwasserstoffe durch Steamcracken, die dafür eingerichtet ist, einen oder mehrere Einsatzströme, der oder die den einen oder die mehreren Kohlenwasserstoffe enthalten, unter Erhalt eines oder mehrerer Produktströme durch eine oder mehrere Strahlungszonen eines oder mehrerer Cracköfen zu führen, wobei die Anlage zum Beheizen der einen oder der mehreren Strahlungszonen durch Verfeuern von Heizgas mit Verbrennungsluft eingerichtet ist, wobei die Anlage dazu eingerichtet ist, zumindest ein Teil der Verbrennungsluft einer Verbrennungsluftvorwärmung zu unterwerfen, wobei die Anlage dazu eingerichtet ist, Dampf aus Speisewasser zu erzeugen, und wobei die Anlage dazu eingerichtet ist, das Speisewasser in einer oder mehreren Konvektionszonen des einen oder der mehreren Cracköfen einer Speisewasservorwärmung zu unterwerfen.

**[0051]** Erfindungsgemäß ist die Anlage dazu eingerichtet, die Verbrennungsluftvorwärmung unter Verwendung von Wärme durchzuführen, die zumindest einem Teil des Speisewassers stromauf der Speisewasservorwärmung entzogen wird.

**[0052]** Zu der erfindungsgemäß bereitgestellten Anlage und ihren Merkmalen sei auf die obigen Erläuterungen bezüglich des erfindungsgemäßen Verfahrens ausdrücklich verwiesen, da diese eine entsprechende Anlage in gleicher Weise betreffen. Entsprechendes gilt insbesondere für eine Ausgestaltung einer entsprechenden Anlage, die vorteilhafterweise zur Ausführung eines entsprechenden Verfahrens in einer beliebigen Ausgestaltung eingerichtet ist.

**[0053]** Die im Rahmen der vorliegenden Anmeldung beschriebenen erfindungsgemäßen und nicht erfindungsgemäßen Maßnahmen ermöglichen es, bei einzelner oder bevorzugt bei kombinierter Anwendung, den baulichen Aufwand und/oder die Energieeffizienz von Dampfspaltöfen mit Luftvorwärmung messbar zu verbessern, wie nachfolgend nochmals unter Bezugnahme auf spezifische Beispiele erläutert.

**[0054]** Eine erste der Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen ist in Tabelle 1 dargestellt gegeben. Als erstes Vergleichssystem wird ein mit gleicher Kohlenwasserstofflast beaufschlagter Ofen ohne Luftvorwärmung, jedoch mit zentraler Heizgasvorwärmung herangezogen (Referenz A, 100% Basis für relativen Vergleich der Bewertungsgrößen). Als zweites Vergleichssystem wird ein mit gleicher Kohlenwasserstofflast beaufschlagter Ofen mit Luftvorwärmung und mit zentraler Heizgasvorwärmung, jedoch nicht nach Merkmalen der vorliegenden Erfindung ausgeführt. (Referenz B). Alle in Tabelle 1 aufgeführten Fälle mit Luftvorwärmung beruhen auf einer resultierenden Verbrennungslufttemperatur von 248°C am Eintritt der Strahlungszone. Die mit 1F, 2A, 3B, 4B, 5B und 6B angegebenen Varianten werden unter Bezugnahme auf die Figuren erläutert und stellen erfindungsgemäße und nicht erfindungsgemäße Varianten dar.

**Tabelle 1 - Vergleich der Wirksamkeit für Luftvorwärmtemperatur von 248°C**

| Variante der Erfindung/<br>Referenz                           |    | Ref. A | Ref. B | Bsp.<br>1F** | Bsp.<br>2A* | Bsp.<br>3B** | Bsp.<br>4B** | Bsp.<br>5B** | Bsp.<br>6B** |
|---------------------------------------------------------------|----|--------|--------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Temperatur der Verbrennungsluft                               | °C | 15     | 248    | 248          | 248         | 248          | 248          | 248          | 248          |
| Relative summierte Bündelhöhe                                 | %  | 100%   | 136%   | 141%         | 86%         | 108%         | 92%          | 106%         | 91%          |
| Relativer Brennstoffverbrauch                                 | %  | 100%   | 78%    | 78%          | 78%         | 78%          | 78%          | 78%          | 78%          |
| Temperatur des Rauchgases am Austritt                         | °C | 119    | 138    | 89           | 189         | 91           | 91           | 91           | 91           |
| Rel. Superhochdruckdampf-Export vom Ofen                      | %  | 100%   | 64%    | 73%          | 59%         | 61%          | 59%          | 61%          | 58%          |
| *: Ausführung ohne Nutzung von Speisewasser in Luftvorwärmung |    |        |        |              |             |              |              |              |              |
| **: Ausführung mit Nutzung von Speisewasser in Luftvorwärmung |    |        |        |              |             |              |              |              |              |

**[0055]** Alle in Tabelle 1 mit dem Zusatz \*\* gekennzeichneten Varianten sind erfindungsgemäß ausgeführt, da Speisewasser als Heizmedium für die Luftvorwärmung vorgesehen ist.

**[0056]** Der prinzipielle Vorteil der Luftvorwärmung zeigt sich beim Vergleich von Referenz A mit Referenz B, in der Form eines um 22% reduzierten Brennstoffverbrauchs. Es zeigt sich bei dem selben Vergleich, dass bei luftvorgewärmten Öfen weitere Maßnahmen benötigt werden, um den erhöhten baulichen Aufwand (in Form von summierter Bündelhöhe) und die mit der ansteigenden Rauchgasaustrittstemperatur einhergehenden Reduzierung der Ofeneffizienz (im Sinne des oben beschriebenen thermischen Wirkungsgrads) auszugleichen. Die nachfolgend beschriebenen erfindungsgemäßen Ausgestaltungen zielen darauf ab, diese beiden Nachteile gleichzeitig und möglichst gut auszugleichen.

**[0057]** Aus dem Vergleich der Variante 1F mit Referenz B zeigt sich, dass die Nutzung von Speisewasser für die Luftvorwärmung, mit nachfolgender Einspeisung in die Konvektionszone auf reduziertem Temperaturniveau (erfindungsgemäß, nachfolgend als Maßnahme 1 bezeichnet) zu einer deutlich abgesenkten Rauchgasaustrittstemperatur und somit zu einer verbesserten Ofenenergieeffizienz führt. Der im Gegenzug in Kauf zu nehmende zusätzliche Bauaufwand fällt mit einem Anstieg von 5 Prozentpunkten sehr gering aus, bei gleichzeitiger Austrittstemperaturabsenkung von knapp 50 K. Ähnliches zeigt sich beim Vergleich der Varianten 2A und 3B. Diese beiden Vergleiche untermauern eindeutig die Wirksamkeit von Maßnahme 1, die es ermöglicht mit geringem baulichen Zusatzaufwand nennenswerte Verbesserungen der Ofeneffizienz herbeizuführen.

**[0058]** Ein weiterer großer Vorteil der Maßnahme 1 besteht in der einfachen Gestaltung der Rauchgasführung nach Austritt aus der Konvektionszone. Diese ist sehr ähnlich zu der eines Ofens ohne Luftvorwärmung, und somit deutlich

einfacher als bei der Nutzung eines direkten Wärmeaustauschers zwischen Abgasstrom und Verbrennungsluft, bei der großvolumige Rohranordnungen und Wärmeaustauschflächen im Rauchgaspfad jedes einzelnen Ofens installiert werden müssen. Maßnahme 1 erzeugt eine ähnliche Prozesswirkung, nämlich der Übertragung von Abgaswärme auf die Verbrennungsluft, jedoch auf indirektem Wege mittels eines im Ofenbereich bereits vorhandenen Wärmeträgers (Speisewasser), der aufgrund seines flüssigen Aggregatzustands deutlich geringere Rohrquerschnitte benötigt.

[0059] Ein weiterer Vorteil besteht in der beschriebenen möglichen Temperaturregelung über die erläuterte Bypassführung, sodass im Unterschied zu einem System mit direktem Wärmeaustausch zwischen Verbrennungsluft und Abgasstrom eine einfache Einstellung/Veränderung der Abgastemperatur im Betrieb möglich ist. Damit können Schwankungen in der Heizgasqualität deutlich besser gehandhabt werden, siehe vorangegangene Beschreibung.

[0060] Die Wirkung der Luftvorwärmung mit (Super-)Hochdrucksattdampf (für sich betrachtet nicht erfindungsgemäße Maßnahme 2) lässt sich anhand des Vergleichs der Varianten 1F und 2A verdeutlichen. Durch die Entnahme von (Super-)Hochdrucksattdampf vor den Überhitzerbündeln für (Super-)Hochdruckdampf steht für die weiter stromab im Rauchgaspfad gelegenen Bündel anteilig mehr Abgaswärme zur Verfügung. Die Temperaturdifferenzen in den Bündeln erhöhen sich, wodurch der Flächenbedarf und die resultierende Höhe der Konvektionszone sehr stark abnimmt. Die alleinige Anwendung von Maßnahme 2 führt somit zu einer erheblichen Minimierung des Bauaufwands, allerdings bei abnehmender Energieeffizienz des Ofens, da die Rauchgasaustrittstemperatur um 100 K zunimmt.

[0061] Es folgt daraus, dass Maßnahmen 1 und 2 gewissermaßen gegenteilige Auswirkungen haben. Durch Vergleich von Referenz B mit Beispiel 3B zeigt sich jedoch sehr deutlich, dass eine Kombination der Maßnahmen 1 und 2 (erfindungsgemäße Maßnahme 3 bezeichnet) zu einer gleichzeitigen Verbesserung des Ofens in punkto Bauaufwand und Energieeffizienz führt.

[0062] Der Vergleich von Variante 3B mit Variante 4B zeigt den Effekt einer zusätzlichen Prozessdampfüberhitzung mit (Super-)Hochdrucksattdampf (für sich betrachtet nicht erfindungsgemäße Maßnahme 4). Ähnlich wie Maßnahme 2 führt diese Entnahme von Sattdampf und dessen Verwendung für Prozessdampfüberhitzung zu einer Reduzierung des Bauaufwands, die im gegebenen Beispiel durch Kombination mit den Maßnahmen 1 (erfindungsgemäß) und 2 (für sich betrachtet nicht erfindungsgemäß) zu einer gleichbleibenden Ofenenergieeffizienz führt.

[0063] Der Vergleich von Variante 3B mit Variante 5B zeigt den Effekt einer zusätzlichen Einsatzvorwärmung mit (Super-)Hochdrucksattdampf (für sich betrachtet nicht erfindungsgemäße Maßnahme 5). Ähnlich wie Maßnahmen 2 und 4 (jeweils für sich betrachtet nicht erfindungsgemäß) führt diese Entnahme von Sattdampf und dessen Verwendung für Einsatzvorwärmung zu einer Reduzierung des Bauaufwands, die im gegebenen Beispiel 5B durch gleichzeitige Anwendung der Maßnahmen 1 (erfindungsgemäß) und 2 (für sich betrachtet nicht erfindungsgemäß) zu einer gleichbleibenden Ofenenergieeffizienz führt.

[0064] Der Vergleich von Variante 4B bzw. Variante 5B mit Variante 6B zeigt den Effekt der gemeinsamen Anwendung von Prozessdampfüberhitzung und Einsatzvorwärmung mit (Super-)Hochdrucksattdampf (für sich betrachtet nicht erfindungsgemäße Maßnahme 6). Die maximale Entnahme von Sattdampf und dessen Verwendung für Prozessdampfüberhitzung und Einsatzvorwärmung führt zu einer maximalen Reduzierung des Bauaufwands, die im gegebenen Beispiel durch gleichzeitige Anwendung der Maßnahmen 1 (erfindungsgemäß) und 2 (für sich betrachtet nicht erfindungsgemäß) zu einer gleichbleibenden Ofenenergieeffizienz wie in den Varianten 3B, 4B, und 5B führt.

[0065] Die in Tabelle 1 aufgeführten Varianten nutzen unterschiedliche Ausführungen der Luftvorwärmersequenzen, mit drei Stufen, mit Nutzung von Waschwasser, Mitteldruckdampf und/oder überhitztem (Super-)Hochdruckdampf zusätzlich zu der erläuterten Nutzung von Speisewasser und/oder (Super-)Hochdrucksattdampf.

[0066] Als zusätzliche Veranschaulichung der Wirksamkeit der beanspruchten Maßnahmen zeigt Tabelle 2 Ergebnisse für Ausführungen verschiedener Varianten bei nochmals erhöhter Luftvorwärmung (300°C) und entsprechend nochmals reduziertem Brennstoffverbrauch. Die beschriebenen Auswirkungen der Maßnahmen gelten dabei unverändert. Der Vergleich der Varianten 4A\* mit 4B\* zeigt den positiven Einfluss von Maßnahme 2 auf den Bauaufwand. Der Vergleich von Bsp. 4B\* mit 4B\*\* zeigt den Mehrwert in punkto Ofeneffizienz bei Hinzunahme von Maßnahme 1.

**Tabelle 2 - Vergleich der Wirksamkeit für Luftvorwärmtemperatur von 300°C**

| Variante der Erfindung/<br>Referenz |    | Ref. A | Ref. B | Bsp. 4A* | Bsp. 4B* | Bsp. 4B** | Bsp. 6B** | Bsp. 6C** |
|-------------------------------------|----|--------|--------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Temperatur der<br>Verbrennungsluft  | °C | 15     | 248    | 300      | 300      | 300       | 300       | 300       |
|                                     |    |        |        |          |          |           |           |           |
| Relative summierte<br>Bündelhöhe    | %  | 100%   | 136%   | 158%     | 109%     | 116%      | 111%      | 117%      |

(fortgesetzt)

| Variante der Erfindung/<br>Referenz                           |    | Ref. A | Ref. B | Bsp. 4A* | Bsp. 4B* | Bsp. 4B** | Bsp. 6B** | Bsp. 6C** |
|---------------------------------------------------------------|----|--------|--------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Relativer<br>Brennstoffverbrauch                              | %  | 100%   | 78%    | 73%      | 73%      | 73%       | 73%       | 73%       |
| Temperatur des<br>Rauchgases am Austritt                      | °C | 119    | 138    | 119      | 118      | 88        | 89        | 89        |
| Rel.<br>Superhochdruckdampf-<br>Export vom Ofen               | %  | 100%   | 64%    | 55%      | 56%      | 56%       | 55%       | 57%       |
| *: Ausführung ohne Nutzung von Speisewasser in Luftvorwärmung |    |        |        |          |          |           |           |           |
| **: Ausführung mit Nutzung von Speisewasser in Luftvorwärmung |    |        |        |          |          |           |           |           |

**[0067]** Alle in Tabelle 2 mit dem Zusatz \*\* gekennzeichneten Varianten sind erfindungsgemäß ausgeführt, da Speisewasser als Heizmedium für die Luftvorwärmung vorgesehen ist.

**[0068]** Es zeigt sich allgemein, dass bei höheren Vorwärmtemperaturen die Kombination einer Mehrzahl von Maßnahmen vergleichsweise einen größeren Mehrwert bietet. So reduziert sich der Bauaufwand im Vergleich von Variante 4B\*\* zu 6B\*\*, d.h. nach Hinzunahme von Maßnahme 6 zu Maßnahmen 1 und 2, in diesem Fall um 5 Prozentpunkte. Als weitere maximal kombinierte Ausführung zeigt Variante 6C\*\* die Möglichkeit auf, im Vergleich zu Variante 6B\*\* bei nahezu gleicher Ofeneffizienz einen erhöhten Dampfexport mittels erhöhtem Bauaufwand zu erreichen. Dies wird in diesem Fall mittels einer seriellen Verschaltung von Prozessdampfüberhitzung und Einsatzvorwärmung auf der Wärmeträgerseite erreicht, d.h. das in der Prozessdampfüberhitzung gebildete Kondensat wird stromab als Wärmeträger für die Einsatzvorwärmung verwendet.

**[0069]** Die in Tabelle 2 aufgeführten Beispiele nutzen unterschiedliche Ausführungen der Luftvorwärmersequenzen, mit 2, 3 oder 4 Stufen, mit Nutzung von Niederdruckdampf und/oder überhitztem (Super-)Hochdruckdampf zusätzlich zu der erläuterten Nutzung von Speisewasser und/oder (Super-)Hochdrucksattdampf.

**[0070]** Die vorliegende Erfindung lässt sich insbesondere auch in einem System einsetzen, wie es beispielsweise in der EP 3 415 587 A1 beschrieben ist, und in dem eine direkte Kühlung des Spaltgases gegen den Einsatzstrom erfolgt und damit nur ein Teil der bei der Spaltgasabkühlung abgegebenen Wärme für die Erzeugung von (Super-) Hochdruckdampf verwendet wird. Die Anwendung der in der vorliegenden Anmeldung beschriebenen Maßnahmen liefert nämlich auch bei einem solchen System die gleichen oder zumindest annähernd gleichen Vorteile.

**[0071]** Die vorliegende Erfindung lässt sich ferner auch in einem System mit Abtrennung von Kohlendioxid aus dem Rauchgas anwenden. Insbesondere bei Anwendung der erfindungsgemäßen Maßnahme 1 erreicht man besonders niedrige Austrittstemperaturen des Rauchgases am Ende der Konvektionszone, die für eine nachfolgende Abtrennung von Kohlendioxid, z.B. mittels einer Aminwäsche, vorteilhaft ist (typische Betriebstemperaturen von Aminwäschen liegen bei 20 bis 60°C).

**[0072]** In einer Ausgestaltung der Erfindung kann auch eine Anreicherung der Verbrennungsluft mit Sauerstoff erfolgen. Dabei ist keine besondere Reinheitsanforderung/Konzentration nötig, man kann z.B. das Nebenprodukt einer Wasserelektrolyse nutzen oder jede andere technische Quelle wie beispielsweise eine Luftzerlegungsanlage nutzen. Der Effekt der Sauerstoffanreicherung ist annäherungsweise vergleichbar mit der Luftvorwärmung, da jeweils die adiabate Verbrennungstemperatur erhöht wird und damit ein erhöhter Strahlungszonenwirkungsgrad sowie verringerte Rauchgasmenge folgen. Der Effekt ist nicht (ganz) äquivalent zur Luftvorwärmung, da man durch den relativ höheren Sauerstoffgehalt (bei geringerem Gehalt an Stickstoff usw.) den äquivalenten Effekt bei etwas anderer Rauchgaszusammensetzung erreicht. Es bildet sich nämlich anteilig mehr Kohlendioxid und Wasser aus der Verbrennung - das erstere ist z.B. vorteilhaft bei Rückgewinnung des Kohlendioxids mittels Aminwäsche und gälte noch mehr bei einer etwaigen Rauchgasrückführung. Vorteil ist darüber hinaus, dass man Strahlungszonen-Wirkungsgrad. bzw. Rauchgasminderung und damit Unterfeuerungeinsparung jenseits der beschriebenen Werte für Luftvorwärmung mit (Super-) Hochdruckdampf Dampf erreichen kann.

**[0073]** Wie bereits erläutert, können die Maßnahmen für Dampfspaltöfen mit allen in Frage kommenden Kohlenwasserstoffeinsätzen verwendet werden. Als Beispiele seien Kohlenwasserstoffe mit zwei, drei und/oder vier Kohlenstoffatomen (gasförmig) Naphtha (flüssig), Gasöl (flüssig), und Produkte aus Recyclingverfahren wie dem Kunststoffrecycling (gasförmig und flüssig) genannt.

**[0074]** In allen Fällen kann die gesamte oder nur ein Teil der Verbrennungsluft vorgewärmt werden. Eine teilweise Luftvorwärmung kann beispielsweise für den Fall gewählt werden, dass sowohl Bodenbrenner als auch Seitenbrenner verwendet werden, und lediglich ein Teil der Brenner mit vorgewärmter Luft versorgt werden, bevorzugt die Bodenbren-

ner. Die angegebenen Zahlenwerte für Luftvorwärmtemperaturen beziehen sich im Rahmen dieser Anmeldung stets auf die resultierende Vorwärmtemperatur der gesamten Verbrennungsluft. Auch Prozessströme aus anderen Anlagen (z.B. Gasturbinenabgas) können für die Vorwärmung der Ofenluft mit verwendet werden.

**[0075]** In den Varianten 4 bis 6 wird jeweils die Anwärmung von getrennten Wasser- bzw. Kohlenwasserstoffströmen gegen (Super-)Hochdrucksattdampf beschrieben. In gleichem Maße kann vorgesehen sein, einen gemischten Stoffstrom aus Kohlenwasserstoff und Wasser auf diese Weise zu erhitzen. Diese Ausgestaltung ist insbesondere für die Anwendung bei gasförmigen Einsätzen relevant, da hier kein Aggregatswechsel des Einsatzes in der Konvektionszone erfolgt.

**[0076]** Die beschriebene Anwendung von Sattdampf bezieht sich auf das bisher typische und technisch genutzte Niveau bis ca. 175 bar (abs.). Denkbar ist alternativ dazu jedoch auch eine teilweise Bereitstellung von Sattdampf auf höherem Druck- und Temperaturniveau (z.B. 175 bar abs. und 355°C) für eine weitere Vorwärmungs- und/oder Überhitzungsanwendung im Ofenbereich.

**[0077]** Die vorliegende Erfindung wird bevorzugt in Kombination mit dem elektrischen Antrieb einzelner oder mehrerer Kompressoren im zugehörigen Trennteil der Anlage eingesetzt. Damit wird die durch die erfindungsgemäße Luftvorwärmung bedingte Reduzierung des (Super-)Hochdruckdampfexports von den Öfen bevorzugt kompensiert. Eine solche erhöhte Elektrifizierung der Anlage ermöglicht zudem eine erhöhte Nutzung von regenerativen Energien mittels Import aus dem Stromnetz. Auch eine Bereithaltung von Dampfboilern als Backupssysteme für den Anlagenstart ist in geringerem Umfang erforderlich.

**[0078]** Die beschriebenen Maßnahmen können sowohl bei einem kompletten Neubau von Dampfspaltöfen als auch bei der Modernisierung bestehender Öfen angewandt werden. Im letzteren Fall sind insbesondere die Vorteile bzgl. summierter Bündelhöhe von hoher Relevanz, wenn es z.B. darum geht, modifizierte Bündelstrukturen in einen bereits bestehenden Stahlbau unterzubringen.

**[0079]** Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren, die Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung gegenüber dem Stand der Technik veranschaulichen, weiter erläutert.

#### Kurze Beschreibung der Figuren

**[0080]** Die Figuren 1 bis 4 zeigen nicht erfindungsgemäße Anordnungen.

**[0081]** Die Figuren 5 bis 22 zeigen Anordnungen gemäß Ausgestaltungen der Erfindung sowie, wo jeweils erwähnt, nicht erfindungsgemäße Anordnungen.

**[0082]** Figur 23 fasst Ausgestaltungen der Erfindung und nicht erfindungsgemäße Ausgestaltungen in einem schematischen Schaubild zusammen.

**[0083]** In der obigen und der nachfolgenden weiteren Beschreibung wurden bzw. werden nicht erfindungsgemäße und gemäß Ausgestaltungen der Erfindung ausgebildete Anlagen und anhand dieser entsprechende Verfahrensschritte beschrieben. Lediglich der Einfachheit halber, und zur Vermeidung von unnötigen Wiederholungen, wurden bzw. werden dabei für Verfahrensschritte und Anlagenkomponenten (beispielsweise einen Abkühlschritt und einen hierzu verwendeten Wärmetauscher) dieselben Bezugszeichen und Erläuterungen verwendet. In den Figuren werden für gleiche oder vergleichbare Komponenten identische Bezugszeichen verwendet und ebenfalls lediglich der Übersichtlichkeit halber nicht wiederholt erläutert.

#### Ausführliche Beschreibung der Figuren

**[0084]** Die Vorteile der Erfindung und entsprechender Ausgestaltungen werden nachfolgend insbesondere im Vergleich zu den in den bereits eingangs erläuterten Figuren 1 und 2 dargestellten Ausführungen gemäß dem Stand der Technik (ohne Luftvorwärmung und mit zentraler Heizgasvorwärmung gemäß Figur 1 und mit Luftvorwärmung auf beispielsweise ca. 248°C gemäß Figur 2, aber zentraler Heizgasvorwärmung wie in Figur 1 veranschaulicht) beschrieben. Diesen Betrachtungen wird dabei ein Crackerofen mit Naphtha als Einsatz zugrunde gelegt. Die unterschiedlichen Aspekte der Erfindung gelten jedoch gleichermaßen für Öfen mit Gas- oder schwereren Flüssigeinsätzen.

**[0085]** Die Topologie der zugrundeliegenden Konvektionszone 12 ist insbesondere in Figur 4 dargestellt. Im Rahmen der Erfindung sind jedoch auch andere Prozessanordnungen einsetzbar. Diese Topologie umfasst, entgegen der Richtung des abströmenden Rauchgases Z, nacheinander eine erste Speisewasservorwärmung 121, eine Einsatzvorwärmung 122, eine zweite Speisewasservorwärmung 123, ein erstes Hochtemperaturbündel 124, eine Prozessdampfüberhitzung 125, eine erste (Super-) Hochdruckdampfüberhitzung 126, eine zweite (Super-)Hochdruckdampfüberhitzung 127 und ein zweites Hochtemperaturbündel 128.

**[0086]** Speisewasser W wird durch die erste Speisewasservorwärmung 121 und die zweite Speisewasservorwärmung 123 geführt und dann einer entsprechenden (Super-) Hochdruckdampferzeugung, beispielsweise in den Spaltgaskühlern 13, zugeführt. Dort erzeugter, noch nicht überhitzter (Super-)Hochdruckdampf S wird unter Erhalt von überhitztem (Super-)Hochdruckdampf T durch die erste (Super-) Hochdruckdampfüberhitzung 126 und die zweite (Super-)Hochdruckdampfüberhitzung 127 geführt wird, wobei zwischen der ersten (Super-)Hochdruckdampfüberhitzung 126 und der

zweiten (Super-) Hochdruckdampfüberhitzung 127 eine Speisewassereinspritzung erfolgen kann. Kohlenwasserstoffeinsatz H wird in der Einsatzvorwärmung 122 erwärmt und Prozessdampf P wird in der Prozessdampfüberhitzung 125 erhitzt, bevor beide zu dem Speisestrom F vereinigt und in dem ersten Hochtemperaturbündel 124 und dem zweiten Hochtemperaturbündel 128 weiter erhitzt werden.

**[0087]** Die Erläuterungen zu den Figuren 1 bis 4 gelten auch für die nachfolgenden Figuren, ebenso werden die in den Figuren 1 bis 4 verwendeten Bezugszeichen auch in den nachfolgenden Figuren eingesetzt. In den nachfolgenden Figuren sind der Übersichtlichkeit halber nicht alle Stoffströme wiederholt bezeichnet.

**[0088]** In den Figuren 5 bis 10 sind mit 1A bis 1F bezeichnete Varianten von Anlagen zum Steamcracken gemäß einer ersten Gruppe von erfindungsgemäßen Ausgestaltungen veranschaulicht. Das diese verbindende Merkmal ist die Nutzung von abgekühltem Speisewasser für eine maximale Energierückgewinnung. Prinzip aller gezeigten Varianten 1A bis 1F ist dabei, wie erwähnt, das an der Ofeneinheit 10 bereits vorliegende Speisewasser als Heizmedium für die Luftvorwärmung 75 und optional auch für die Heizgasvorwärmung 65 im Niedertemperaturbereich, d.h. in einem Temperaturbereich bis 100°C, zu nutzen. Das aus der Vorwärmung 75 und ggf. 65 austretende, abgekühlte Speisewasser wird nach dieser der Konvektionszone 12 zugeführt, allerdings bei, wie ebenfalls bereits erwähnt, merklich reduzierter Temperatur gegenüber dem Stand der Technik.

**[0089]** Die in den Figuren 5 bis 10 gezeigten Vorwärmungen können, wie erwähnt, aus mehreren Stufen bestehen, z.B. einer ersten Stufe mit Speisewasser als Heizmedium, einer zweiten Stufe mit Mitteldruckdampf als Heizmedium und einer dritten Stufe als mit (Super-)Hochdruckdampf als Heizmedium.

**[0090]** Weitere mögliche Heizarten bzw. Heizmedien sind ergänzend einsetzbar, wie erwähnt. Des Weiteren können auch mehr oder weniger Vorwärmstufen vorgesehen werden, wie ebenfalls erwähnt. Zur Verwendung von ablaufendem Heizmedium bzw. der Rückführung von Kondensat in die Dampferzeugung wird ebenfalls auf die obigen Erläuterungen verwiesen.

**[0091]** In der in Figur 5 veranschaulichten Variante 1A wird ein Teil des Speisewassers W als entsprechender Heizstrom WH in der zentralen Luftvorwärmung 75 eingesetzt. Ein weiterer Teil kann als Bypass WB an der zentralen Luftvorwärmung 75 vorbeigeführt werden, um die erläuterte Regelmöglichkeit zu realisieren. Letzteres ist auch in den nachfolgend erläuterten Varianten 1B bis 1F der Fall.

**[0092]** In der in Figur 6 veranschaulichten Variante 1B werden Teile des Speisewassers W als Heizströme WH1, WH2 in der zentralen Luftvorwärmung 75 und der zentralen Heizgasvorwärmung 65 eingesetzt.

**[0093]** In der in Figur 7 veranschaulichten Variante 1C wird eine dezentrale Luftvorwärmung 75 mit Speisewasser WH beheizt, dagegen erfolgt keine Heizgasvorwärmung.

**[0094]** In der in Figur 8 veranschaulichten Variante 1D werden sowohl eine dezentrale Luftvorwärmung 75 mit Speisewasser WH1 als auch eine dezentrale Heizgasvorwärmung 65 mit Speisewasser WH2 beheizt.

**[0095]** In der in Figur 9 veranschaulichten Variante 1E werden eine dezentrale Luftvorwärmung 75 mit Speisewasser WH1, aber auch eine zentrale Heizgasvorwärmung 65 mit Speisewasser WH2 beheizt. Es ergeben sich zwei mit WB1, WB2 bezeichnete Bypässe.

**[0096]** In der in Figur 10 veranschaulichten Variante 1F wird eine dezentrale Luftvorwärmung 75 mit Speisewasser WH beheizt, dagegen erfolgt eine zentrale Heizgasvorwärmung 65 ohne Beheizung mit Speisewasser.

**[0097]** In den Figuren 11 bis 13 sind mit 2A bis 2C bezeichnete Varianten von Anlagen zum Steamcracken gemäß einer zweiten Gruppe von nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltungen veranschaulicht. Das diese verbindende Merkmal ist die Nutzung von ofeneigenem (Super-)Hochdrucksattdampf S als Heizmedium in der Luftvorwärmung 75. Prinzip der gezeigten Varianten ist, den im Dampferzeuger 13 desselben Crackerofens 10 erzeugten Sattdampf S teilweise als Heizmedium für die Anwärmerung 75 von Luft im Mittel- bis Hochtemperaturbereich, d.h. in einem Temperaturbereich von 150 bis 330°C, zu nutzen. Die den Dampfüberhitzern 126, 127 in der Konvektionszone 12 (vgl. Figur 4) zugeführte Sattdampfmenge reduziert sich entsprechend, wodurch anteilig mehr Abgaswärme den stromab im Pfad des Rauchgases Z in der Konvektionszone 12 angeordneten Wärmetauschern 121 bis 125 zur Verfügung steht.

**[0098]** In den in Figuren 11 und 12 veranschaulichten Varianten 2A und 2B werden diese Maßnahmen zusammen mit einer dezentralen Luftvorwärmung 75 eingesetzt, wobei in der in Figur 12 veranschaulichten Variante 2B zusätzlich eine zentrale Luftvorwärmung, der besseren Unterscheidbarkeit halber mit 75' bezeichnet, vorhanden ist. In der in Figur 13 veranschaulichten Variante 2C findet sich dagegen nur eine zentrale Luftvorwärmung. In allen Fällen ist ein entsprechender, zur Beheizung verwendeter Sattdampfstrom mit SH bezeichnet. Hieraus gebildetes Kondensat ist mit SC bezeichnet. Dieses wird in den veranschaulichten Beispielen in das zentrale Dampfsystem 50 zurückgeführt.

**[0099]** Das entstehende (Super-)Hochdruckkondensat kann wie in den Figuren 11, 12 und 13 zu den Varianten 2A, 2B und 2C gezeigt, dem zentralen Dampfsystem der Anlage zugeführt werden, um die darin enthaltene Restenergie weiter zu nutzen und schließlich einer geeigneten Kondensataufbereitung zuzuführen. Es ist dabei ebenfalls möglich, das gebildete Kondensat in vorangegangenen Vorwärmstufen (d.h. auf niedrigerem Temperaturniveau) ganz oder teilweise erneut zu nutzen, bevorzugt nach teilweiser Entspannung auf ein reduziertes Druckniveau und Zugabe von überhitztem Dampf auf diesem reduzierten Druckniveau. Es kann aber auch eine Unterkühlung des Kondensats in der Vorwärmung ohne vorherige Entspannung und Zumischung von überhitztem Dampf vorgesehen werden.

**[0100]** In den Figuren 14 und 15 sind mit 3A und 3B bezeichnete Varianten von Anlagen zum Steamcracken gemäß einer dritten Gruppe von erfindungsgemäßen Ausgestaltungen veranschaulicht. Das diese verbindende Merkmal ist eine kombinierte Nutzung von Speisewasser und (Super-)Hochdrucksattdampf S als Heizmedien in der Luft- und/oder Heizgasvorwärmung 65, 75. Prinzip aller gezeigten Varianten ist, die zuvor zu der ersten und zweiten Gruppe von Ausgestaltungen erläuterten Maßnahmen gemeinsam anzuwenden, d.h. für die Luft- und/oder Heizgasvorwärmung 65, 75 im Niedertemperaturbereich bis 100°C Speisewasser W und zusätzlich für die Luftvorwärmung 75 im Mittel- bzw. Hochtemperaturbereich von 150 bis 330°C Sattdampf zu verwenden.

**[0101]** Die Vorwärmungen können wie erwähnt aus mehreren Stufen bestehen, z.B. aus einer ersten Stufe mit Speisewasser als Heizmedium, einer zweiten Stufe mit Mitteldruckdampf als Heizmedium, und einer dritten Stufe mit Superhochdrucksattdampf als Heizmedium. Weitere mögliche Heizarten bzw. Heizmedien sind ergänzend einsetzbar, wie erwähnt. Des Weiteren können auch mehr oder weniger Vorwärmstufen vorgesehen werden, wie ebenfalls erwähnt. Zur Verwendung von ablaufendem Heizmedium bzw. der Rückführung von Kondensat in die Dampferzeugung wird ebenfalls auf die obigen Erläuterungen verwiesen.

**[0102]** In der in Figur 14 veranschaulichten Variante 3A werden diese Heizmedien gemeinsam für eine dezentrale Luftvorwärmung 75 eingesetzt, wohingegen in der in Figur 15 veranschaulichten Variante 3B zusätzlich eine zentrale Luftvorwärmung, der besseren Unterscheidbarkeit halber erneut mit 75' bezeichnet, vorhanden ist, wobei die dezentrale Luftvorwärmung 75 (Super-)Hochdruck-Sattdampf S und die zentrale Luftvorwärmung 76 Speisewasser W verwendet.

**[0103]** In den Figuren 16 und 17 sind mit 4A und 4B bezeichnete Varianten von Anlagen zum Steamcracken gemäß einer vierten Gruppe von Ausgestaltungen veranschaulicht, wobei Figur 16 eine nicht erfindungsgemäße Ausgestaltung darstellt und Figur 17 eine erfindungsgemäße Ausgestaltung. Das diese verbindende Merkmal ist eine Nutzung von (Super-)Hochdrucksattdampf S als Heizmedium für die Überhitzung von Prozessdampf P. Prinzip aller gezeigten Varianten ist, den im Dampferzeuger 13 desselben Ofens 10 erzeugten Sattdampf S teilweise als Heizmedium für die Überhitzung von Prozessdampf P im Mittel- bis Hochtemperaturbereich, d.h. im Temperaturbereich von 150 bis 330°C, zu nutzen. Die den Dampfüberhitzern 126, 127 für den Sattdampf S in der Konvektionszone 12 (vgl. Figur 4) zugeführte Sattdampfmenge reduziert sich entsprechend, wodurch anteilig mehr Abgaswärme auf einem höheren Temperaturniveau den stromab im Pfad des Rauchgases Z in der Konvektionszone 12 angeordneten Wärmetauschern 121 bis 125 zur Verfügung steht. Zusätzlich reduziert sich aber hierdurch auch die Last des Prozessdampfüberhitzers 125 in der Konvektionszone 12 teilweise oder vollständig, sodass nochmals mehr Abgaswärme auf einem höheren Temperaturniveau den stromab des Prozessdampfüberhitzers 125 im Pfad des Rauchgases Z in der Konvektionszone 12 angeordneten Wärmetauschern 121 bis 124 zur Verfügung steht.

**[0104]** In den in Figur 16 und 17 veranschaulichten Varianten 4A und 4B ist dabei jeweils eine dezentrale Prozessdampferhitzung 35 vorgesehen, wobei in der in Figur 16 veranschaulichten Variante 4A nur diese, in der in Figur 17 veranschaulichten Variante dagegen auch eine dezentrale Luftvorwärmung 75' mit (Super-)Hochdrucksattdampf S als Heizmedium beheizt wird. Die in Figur 17 veranschaulichte Variante weist als erfindungsgemäße Ausgestaltung zudem eine Nutzung von Speisewasser zur Luftvorwärmung auf, in diesem Fall in einer vorgeschalteten zentralen Luftvorwärmung 75.

**[0105]** In den Figuren 18 und 19 sind zuvor mit 5A und 5B bezeichnete Varianten von Anlagen zum Steamcracken gemäß einer fünften Gruppe von Ausgestaltungen veranschaulicht, wobei Figur 18 eine nicht erfindungsgemäße Ausgestaltung darstellt und Figur 19 eine erfindungsgemäße Ausgestaltung. Das diese verbindende Merkmal ist eine Nutzung von (Super-)Hochdrucksattdampf S als Heizmedium für die Vorwärmung des Kohlenwasserstoffeinsatzes H. Prinzip aller gezeigten Varianten ist, den im Dampferzeuger 13 desselben Crackofens 10 erzeugten Sattdampf S teilweise als Heizmedium für die Vorwärmung des Kohlenwasserstoffeinsatzes H (inkl. möglicher Teilverdampfung bei flüssigen Einsätzen) im Mittel- bis Hochtemperaturbereich von 100 bis 330°C zu nutzen. Dabei findet auf der Einsatzseite eine einphasige Vorwärmung des Einsatzstroms statt (flüssig oder gasförmig). Zusätzlich kann auch ein teilweiser oder vollständiger Phasenübergang von flüssig zu gasförmig stattfinden (je nach Einsatz und Austrittstemperatur). Die den Dampfüberhitzern 126, 127 für den Sattdampf S in der Konvektionszone 12 (vgl. Figur 4) zugeführte Sattdampfmenge reduziert sich entsprechend, wodurch anteilig mehr Abgaswärme auf einem höheren Temperaturniveau den stromab im Pfad des Rauchgases Z in der Konvektionszone 12 angeordneten Wärmetauschern 121 bis 125 zur Verfügung steht. Zusätzlich reduziert sich die Last des Einsatzvorwärmers 121 in der Konvektionszone 12 teilweise oder vollständig, sodass noch mehr Abgaswärme auf einem höheren Temperaturniveau dem stromab angeordneten Wärmetauscher 121 zur Verfügung steht.

**[0106]** In den in Figur 18 und 19 veranschaulichten Varianten 5A und 5B ist dabei jeweils eine dezentrale Einsatzerhitzung 25 vorgesehen, wobei in der in Figur 18 veranschaulichten Variante 5A nur diese, in der in Figur 19 veranschaulichten Variante dagegen auch eine dezentrale Luftvorwärmung 75' mit (Super-)Hochdrucksattdampf S als Heizmedium beheizt wird. Die in Figur 19 veranschaulichte Variante weist als erfindungsgemäße Ausgestaltung zudem eine Nutzung von Speisewasser zur Luftvorwärmung auf, in diesem Fall in einer vorgeschalteten zentralen Luftvorwärmung 75.

**[0107]** In den Figuren 20 bis 22 sind zuvor mit 6A bis 6C bezeichnete Varianten von Anlagen zum Steamcracken gemäß einer sechsten Gruppe von Ausgestaltungen veranschaulicht, wobei Figur 20 eine nicht erfindungsgemäße

Ausgestaltung darstellt und Figuren 21 und 22 erfindungsgemäße Ausgestaltungen. Das diese verbindende Merkmal ist eine kombinierte Nutzung von (Super-)Hochdrucksattdampf S als Heizmedium für Prozessdampfüberhitzung und Einsatzvorwärmung. Prinzip aller gezeigten Varianten ist, den im Dampferzeuger 13 desselben Crackofens 10 erzeugten Sattedampf S teilweise als Heizmedium sowohl für die Überhitzung von Prozessdampf P im Mittel- bis Hochtemperaturbereich von 150 bis 330°C als auch für die Vorwärmung des Kohlenwasserstoff-Einsatzstroms H (inkl. möglicher Teilverdampfung bei flüssigen Einsätzen) im Mittel- bis Hochtemperaturbereich von 100 bis 330°C zu nutzen. Die den Dampfüberhitzern 126, 127 für den (Super-)Hochdrucksattdampf S in der Konvektionszone 12 (vgl. Figur 4) zugeführte Sattedampfmenge reduziert sich entsprechend, wodurch anteilig mehr Abgaswärme auf einem höheren Temperaturniveau den stromab im Pfad des Rauchgases Z in der Konvektionszone 12 angeordneten Wärmetauschern 121 bis 125 zur Verfügung steht. Zusätzlich reduziert sich die Last des Überhitzers 125 für Prozessdampf P in der Konvektionszone 12 teilweise oder vollständig, sodass nochmals mehr Abgaswärme auf einem höheren Temperaturniveau für die stromab angeordneten Wärmetauscher 121 bis 124 zur Verfügung steht.

**[0108]** In den in den Figuren 20 bis 22 veranschaulichten Varianten 6A bis 6C sind dabei jeweils eine dezentrale Einsatzerhitzung 25 und eine dezentrale Prozessdampfüberhitzung 35 vorgesehen. Bei den in den Figuren 20 und 21. veranschaulichten Varianten 6A und 6B werden diese Einheiten in der dargestellten Weise mit Sattedampf S beschickt. In der in Figur 22 veranschaulichten Variante 6C sind die Prozessdampfüberhitzung 35 und die Einsatzvorwärmung 25 auf der Wärmeträgerseite in Serie geschaltet. Bei den in den Figuren 21 und 22 veranschaulichten Varianten 6B und 6C wird zusätzlich eine dezentrale Luftvorwärmung 75' mit Sattedampf S beschickt. Die in den Figur 21 und 22 veranschaulichten Varianten weisen als erfindungsgemäße Ausgestaltungen zudem eine Nutzung von Speisewasser zur Luftvorwärmung auf, in diesem Fall in einer vorgeschalteten zentralen Luftvorwärmung 75.

**[0109]** Figur 23 fasst Ausgestaltungen der Erfindung und nicht erfindungsgemäße Ausgestaltungen in einem schematischen Schaubild zusammen, wobei die entsprechenden Stoffströme nicht nochmals gesondert bezeichnet sind. Die Figur 23 veranschaulicht insbesondere die Möglichkeit zur zentralen und dezentralen Bereitstellung der zuvor erläuterten Einheiten.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Umsetzung eines oder mehrerer Kohlenwasserstoffe durch Steamcracken, bei dem ein oder mehrere Einsatzströme (F), der oder die den einen oder die mehreren Kohlenwasserstoffe (H) enthalten, unter Erhalt eines oder mehrerer Produktströme (C) durch eine oder mehrere Strahlungszonen (11) eines oder mehrerer Crackeröfen (10) geführt werden, bei dem die eine oder die mehreren Strahlungszonen (11) durch Verfeuern von Heizgas (X) mit Verbrennungsluft (L) beheizt werden, bei dem zumindest ein Teil der Verbrennungsluft (L) einer Verbrennungsluftvorwärmung (75) unterworfen wird, bei dem Dampf (S, T) aus Speisewasser (W) erzeugt wird, und bei dem das Speisewasser (W) in einer oder mehreren Konvektionszonen (12) des einen oder der mehreren Cracköfen (10) einer Speisewasservorwärmung unterworfen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbrennungsluftvorwärmung (75) zumindest zum Teil und/oder zumindest zeitweise unter Verwendung von Wärme durchgeführt wird, die zumindest einem Teil des Speisewassers (W) stromauf der Speisewasservorwärmung entzogen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der aus dem Speisewasser (W) erzeugte Dampf überhitzten und/oder nicht überhitzten Hoch- oder Superhochdruckdampf (T) umfasst, der aus dem Speisewasser (W) nach der Speisewasservorwärmung gebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem zumindest ein Teil des Speisewassers (W) nach der Speisewasservorwärmung unter Verwendung von Wärme, die zumindest einem Teil des einen oder der mehreren Produktströme (C) entzogen wird, unter Erhalt von Hoch- oder Superhochdrucksattdampf (S) einer Speisewasserverdampfung unterworfen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem zumindest ein Teil des Hoch- oder Superhochdrucksattdampfs (S) in der einen oder in den mehreren Konvektionszonen (12) zum Erhalt des überhitzten Hoch- oder Superhochdruckdampfs (T) einer Dampfüberhitzung unterworfen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, bei dem die Verbrennungsluftvorwärmung (75) ferner unter Verwendung von Wärme durchgeführt wird, die einem Teil des überhitzten Hoch- oder Superhochdruckdampfs (T) entzogen wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Heizgas (X) einer Heizgasvorwärmung (65) unterworfen wird, die ebenfalls unter Verwendung von Wärme durchgeführt wird, die zumindest einem Teil des Speisewassers (W) stromauf der Speisewasservorwärmung entzogen wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Speisewasservorwärmung in einem oder in mehreren Rauchgaskanälen in der einen oder in den mehreren Konvektionszonen (12) durchgeführt wird, wobei die Speisewasservorwärmung auf einem niedrigeren Temperaturniveau durchgeführt wird, als es für die Dampfüberhitzung zum Erhalt des überhitzten Hoch- oder Superhochdruckdampfs (T), und für eine Prozessdampfüberhitzung zur Bereitstellung von ausreichend erhitztem Prozessdampf, der zur Bildung des einen oder der mehreren Einsatzströme (F) verwendet wird, durchgeführt wird.  
5
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Speisewasser (W) auf einem Temperaturniveau von 80 bis 140°C bereitgestellt wird und bei dem das Speisewasser (W) bei der Verbrennungsluftvorwärmung (75) auf ein Temperaturniveau von 40 bis 100°C abgekühlt wird.  
10
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Speisewasser (W) der Verbrennungsluftvorwärmung (75) auf einem Druckniveau von 30 bis 60 bar (abs.) oder von 60 bis 175 bar (abs.) zugeführt und auf diesem Druckniveau der Speisewasservorwärmung unterworfen wird.  
15
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem das Speisewasser (W) der Verbrennungsluftvorwärmung (75) auf einem Druckniveau von 20 bis 60 bar (abs.) zugeführt und auf einem Druckniveau von von 30 bis 60 bar (abs.) oder von 60 bis 175 bar (abs.) der Speisewasservorwärmung unterworfen wird.
- 20 11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem mehrere Crackeröfen (10) verwendet werden, die mittels eines zentralen Speisewassersystems (40) mit dem Speisewasser (W) versorgt werden, wobei die Verbrennungsluftvorwärmung (75) für jeden der mehreren Cracköfen (10) gesondert oder für die mehreren Crackeröfen (10) gemeinsam durchgeführt wird.
- 25 12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Luftvorwärmung ferner unter Verwendung von Sattdampf und/oder hieraus gebildetem Dampfkondensat durchgeführt wird.
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine Vorwärmung des einen oder der mehreren Einsatzströme (F) und/oder eines oder mehrere, zu dessen oder deren Bildung verwendeter Stoffströme unter Verwendung von Sattdampf und/oder hieraus gebildetem Dampfkondensat durchgeführt wird.  
30
14. Anlage zur Umsetzung eines oder mehrerer Kohlenwasserstoffe durch Steamcracken, die dafür eingerichtet ist, einen oder mehrere Einsatzströme (F), der oder die den einen oder die mehreren Kohlenwasserstoffe (H) enthalten, unter Erhalt eines oder mehrerer Produktströme (C) durch eine oder mehrere Strahlungszonen (11) eines oder  
35 mehrerer Cracköfen (10) zu führen, wobei die Anlage zum Beheizen der einen oder der mehreren Strahlungszonen (11) durch Verfeuern von Heizgas (X) mit Verbrennungsluft (L) eingerichtet ist, wobei die Anlage dazu eingerichtet ist, zumindest ein Teil der Verbrennungsluft (L) einer Verbrennungsluftvorwärmung (75) zu unterwerfen, wobei die Anlage dazu eingerichtet ist, Dampf (S, T) aus Speisewasser (W) zu erzeugen, und wobei die Anlage dazu eingerichtet ist, das Speisewasser (W) in einer oder mehreren Konvektionszonen (12) des einen oder der mehreren  
40 Cracköfen (10) einer Speisewasservorwärmung zu unterwerfen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlage dazu eingerichtet ist, die Verbrennungsluftvorwärmung (75) zumindest zum Teil und/oder zumindest zeitweise unter Verwendung von Wärme durchzuführen, die zumindest einem Teil des Speisewassers (W) stromauf der Speisewasservorwärmung entzogen wird.
- 45 15. Anlage nach Anspruch 14, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet ist.

50

55

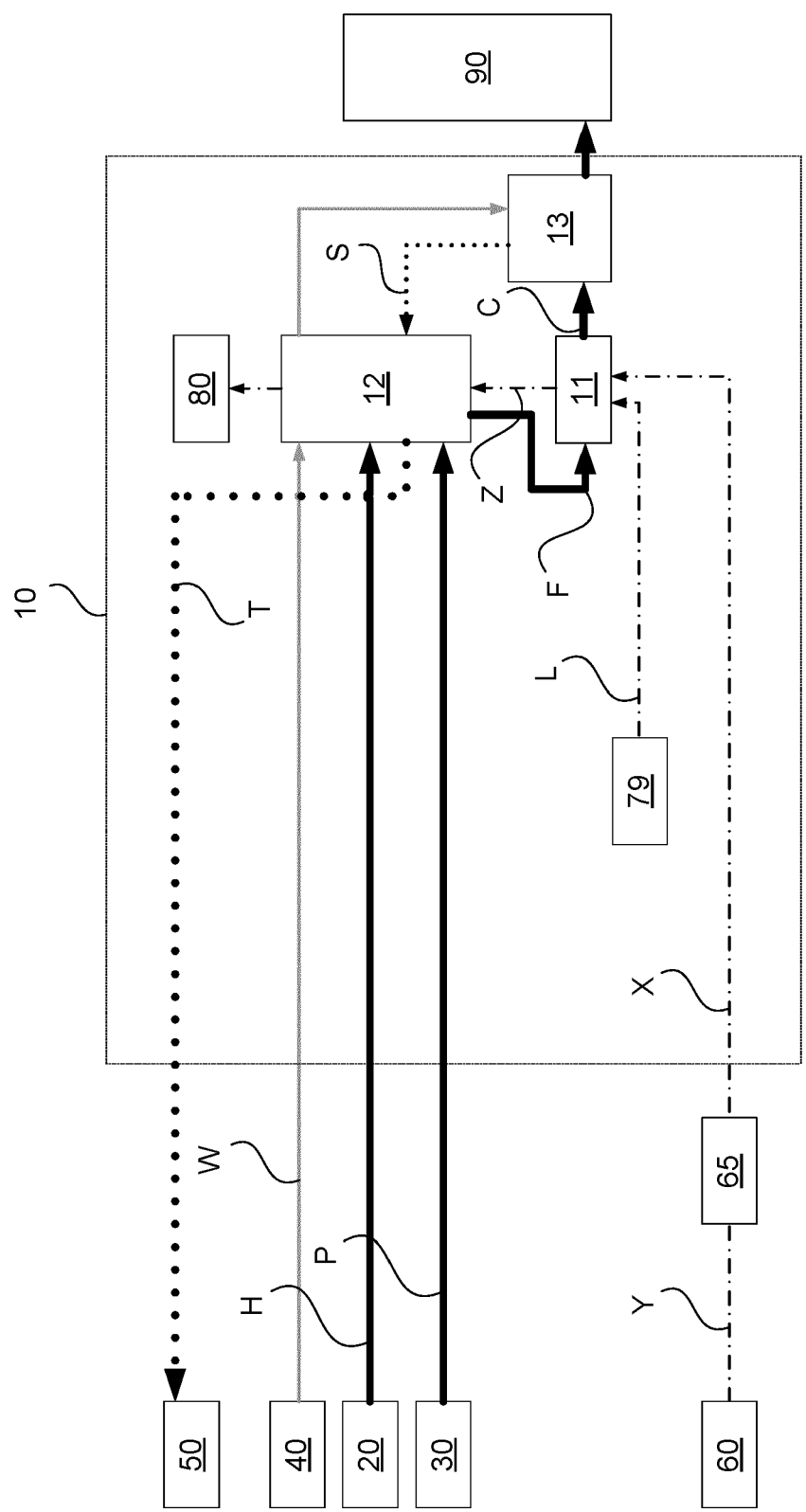


Fig. 1

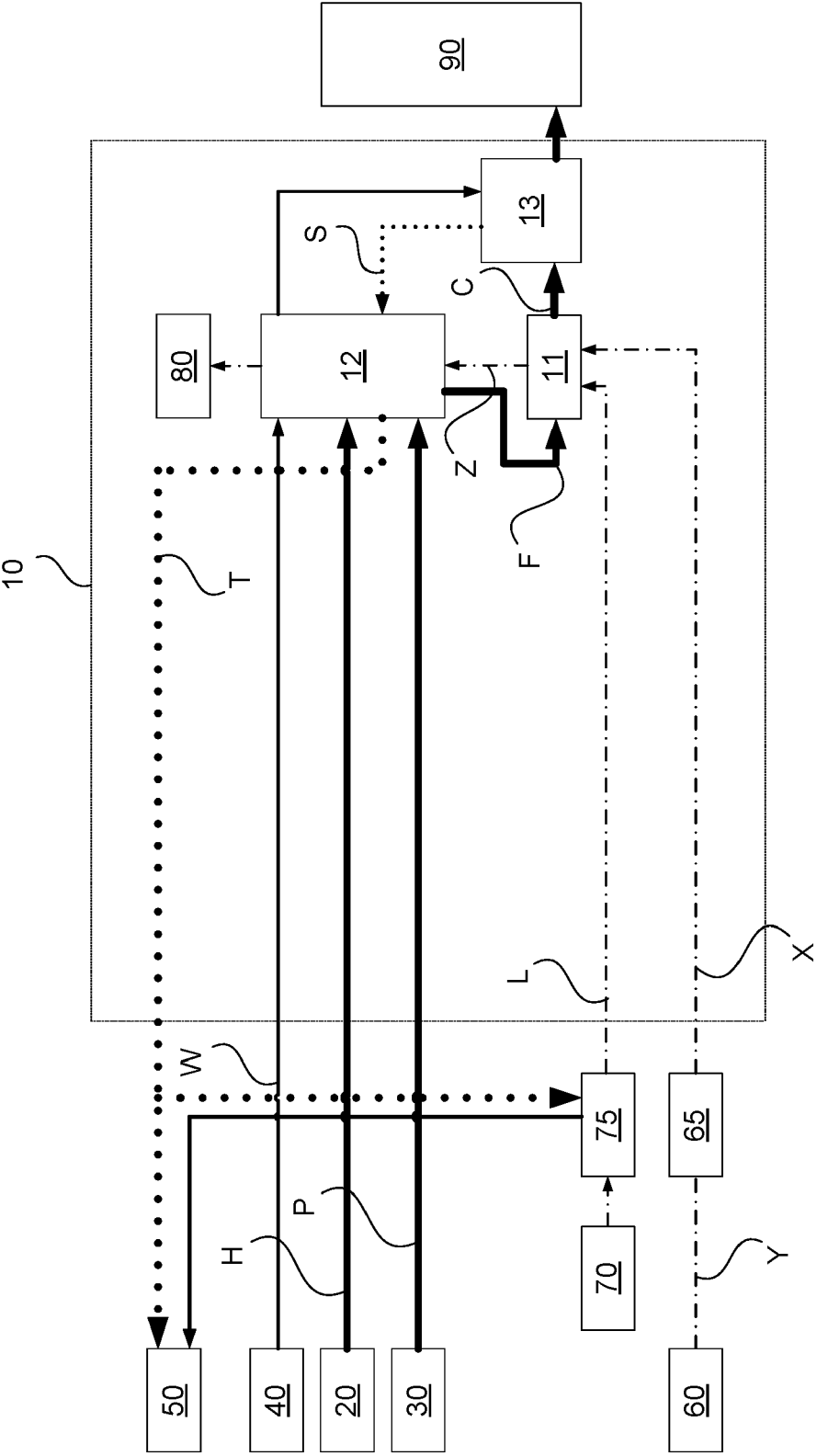


Fig. 2

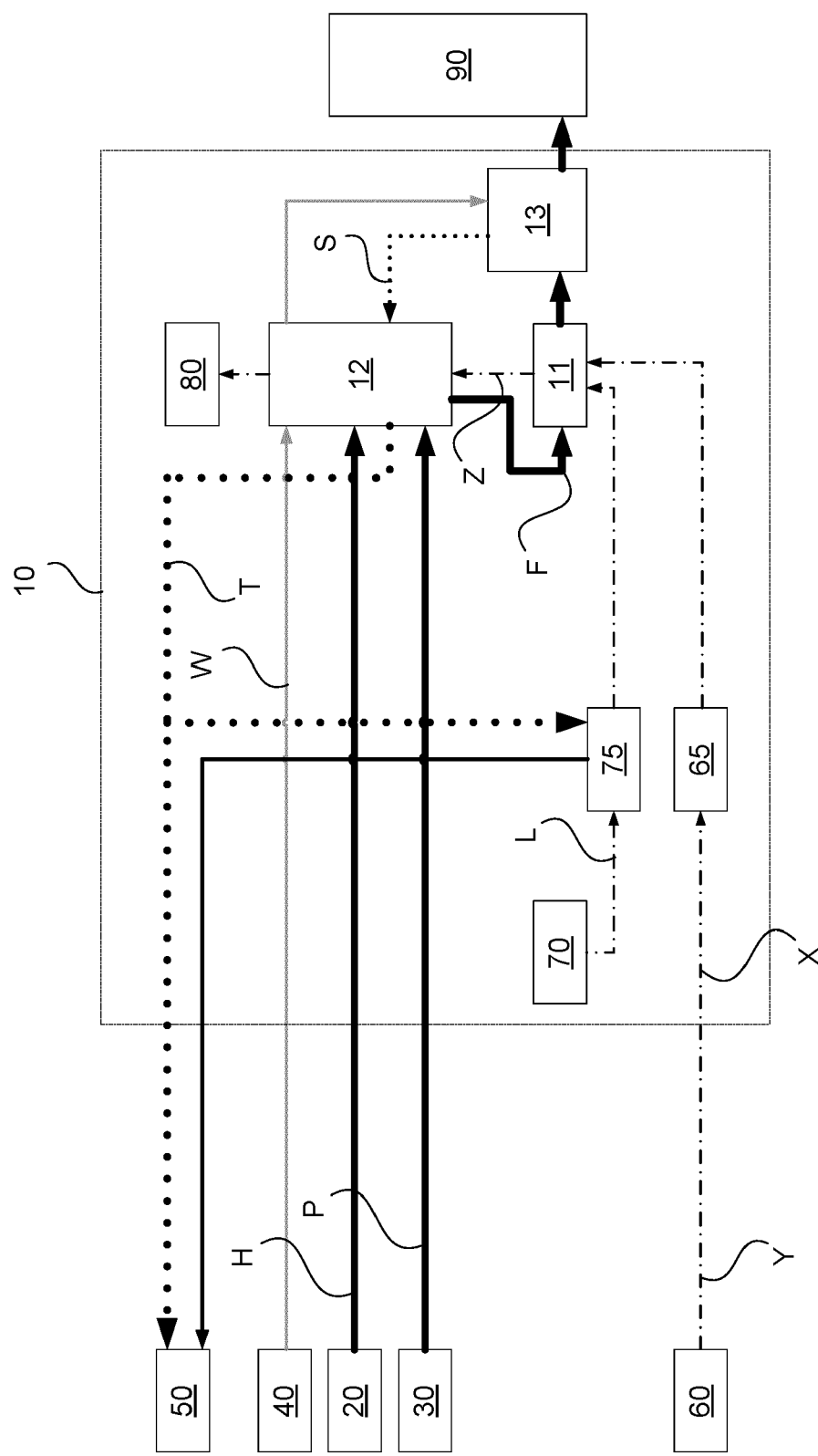
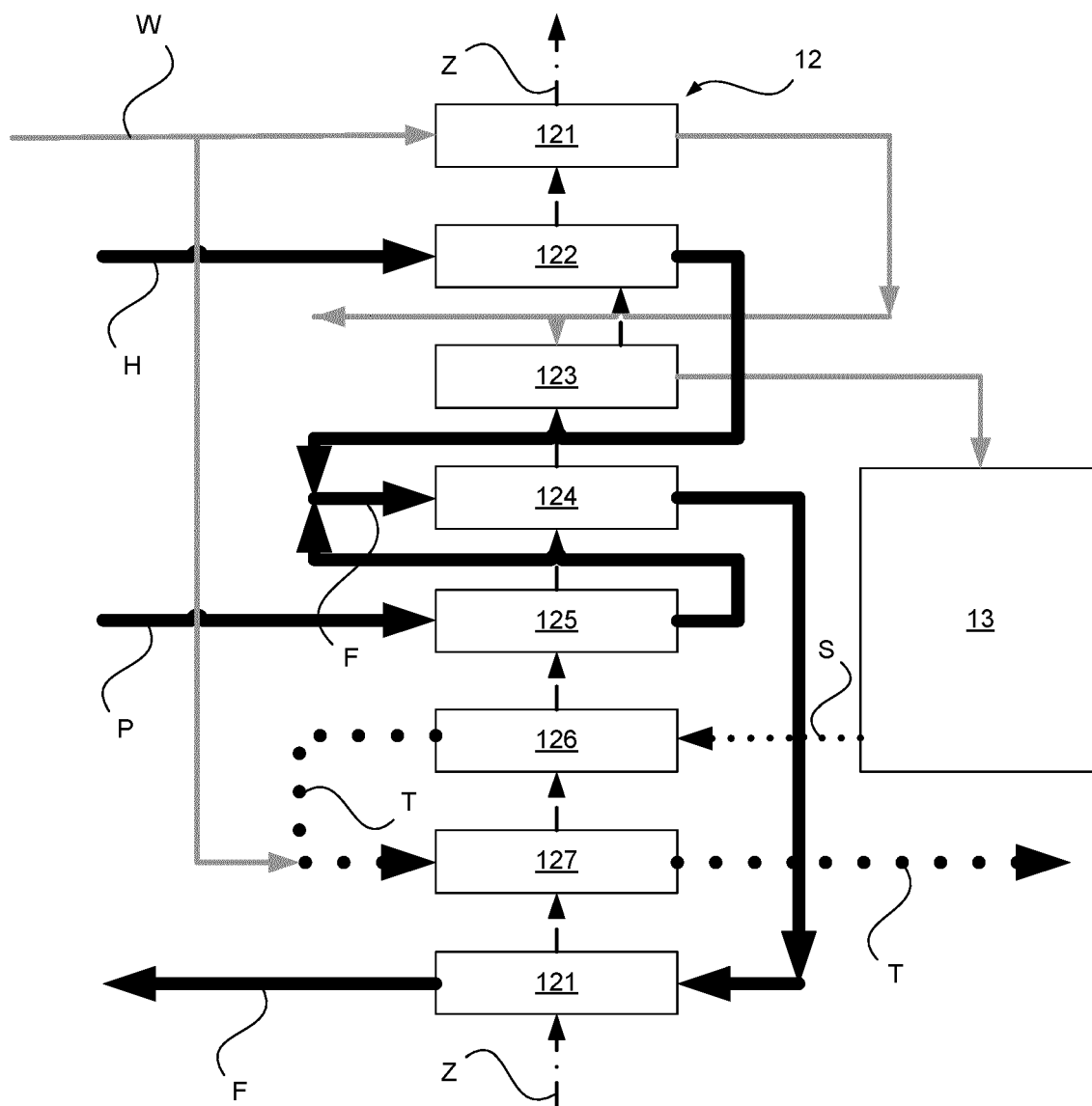


Fig. 3



**Fig. 4**

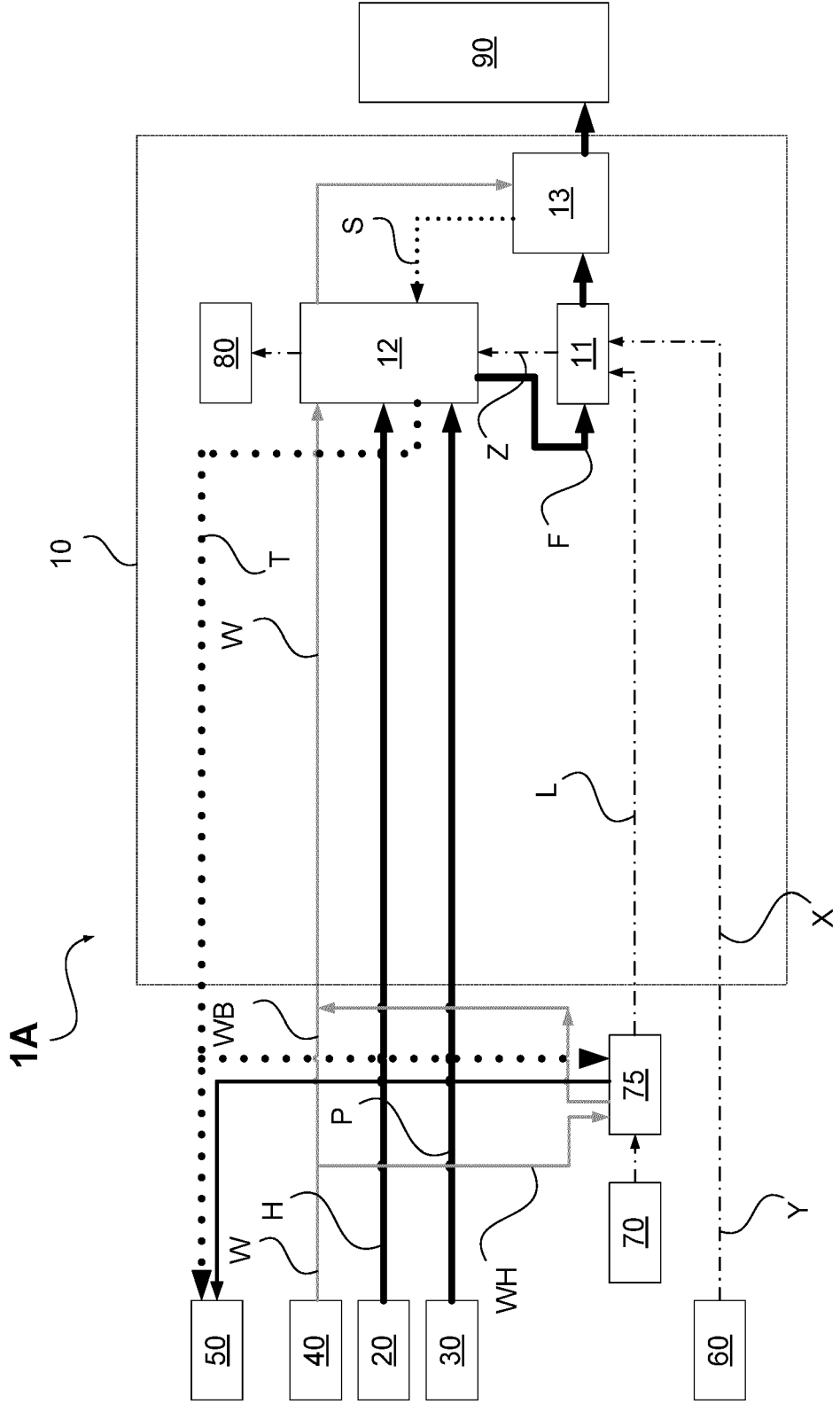


Fig. 5

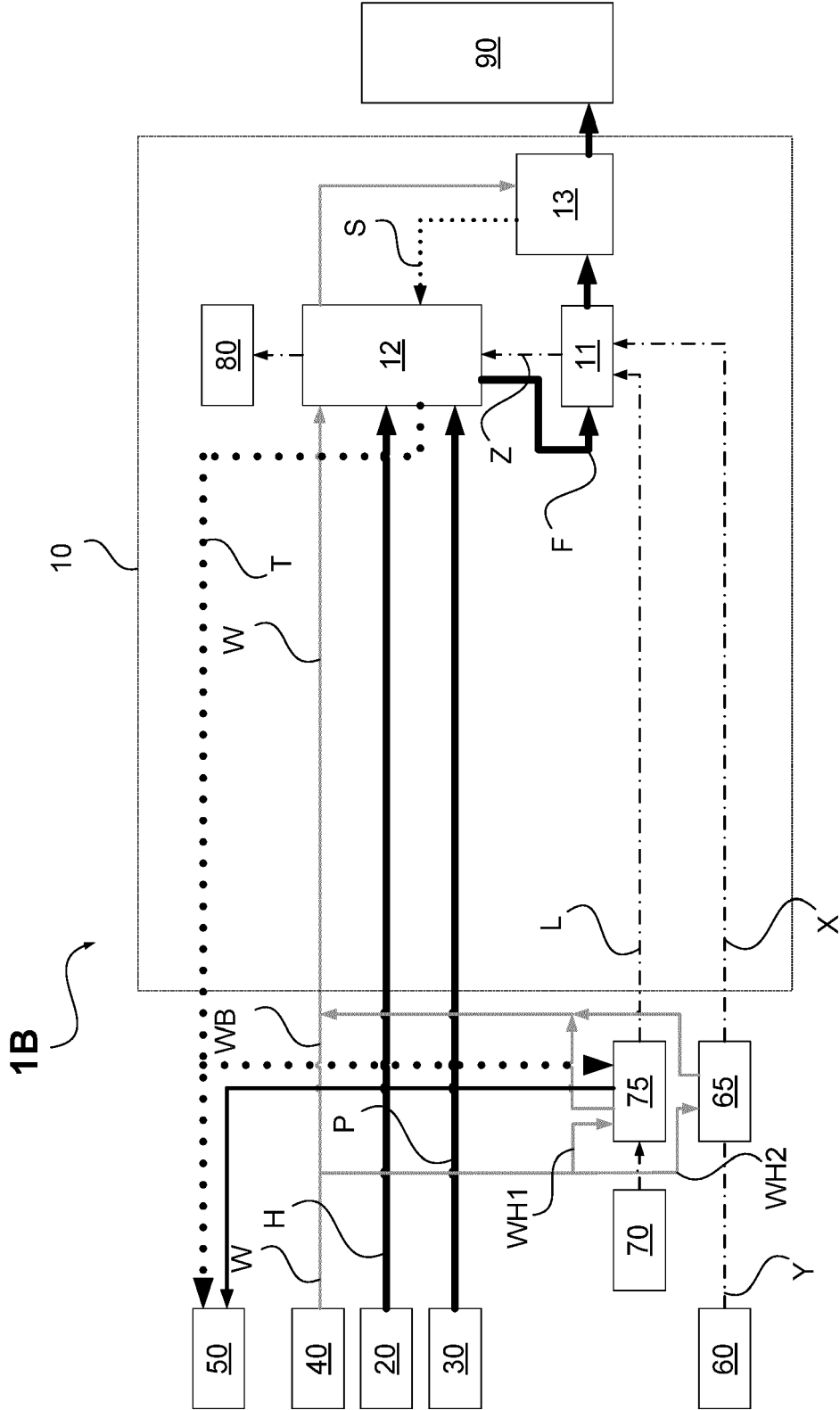


Fig. 6

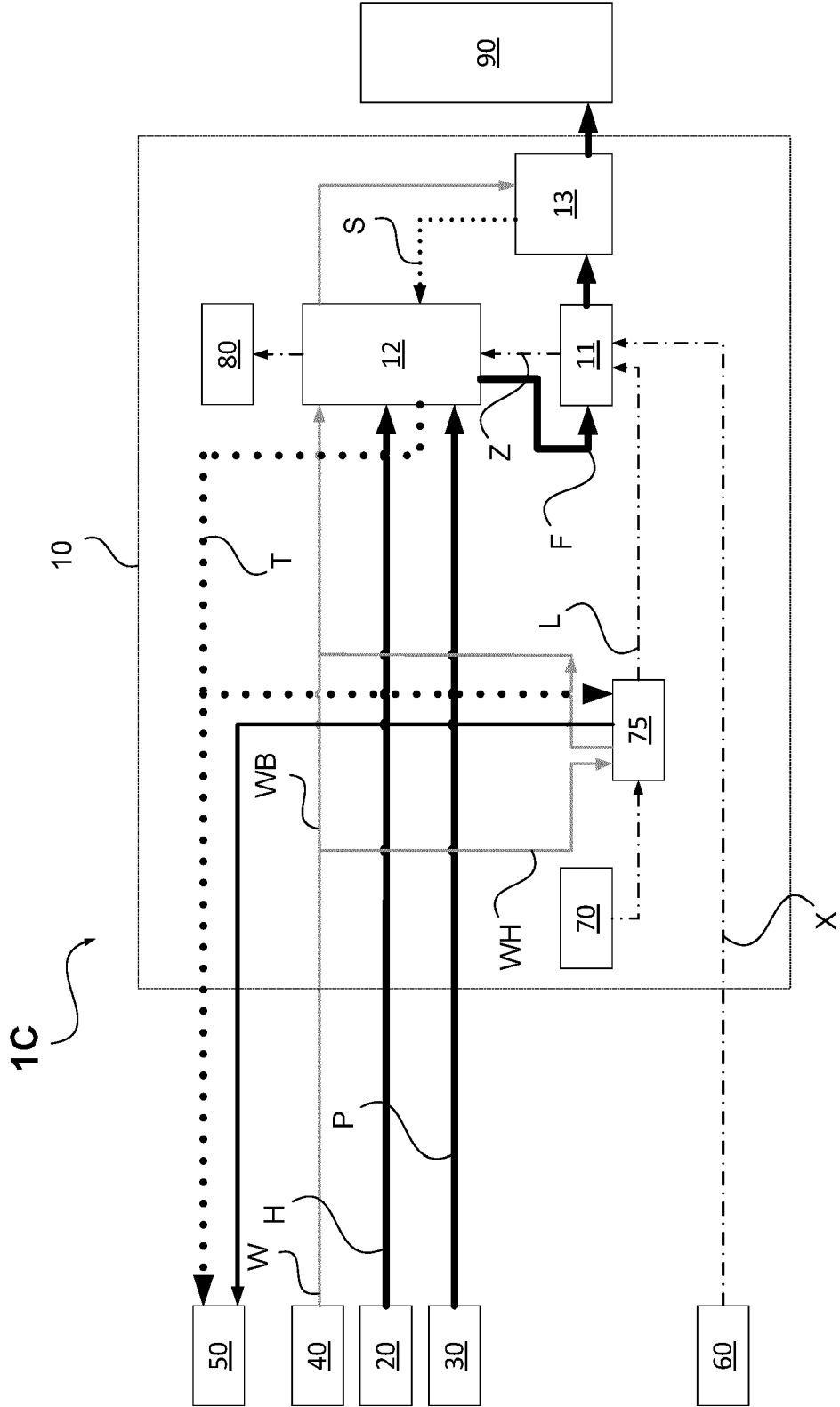
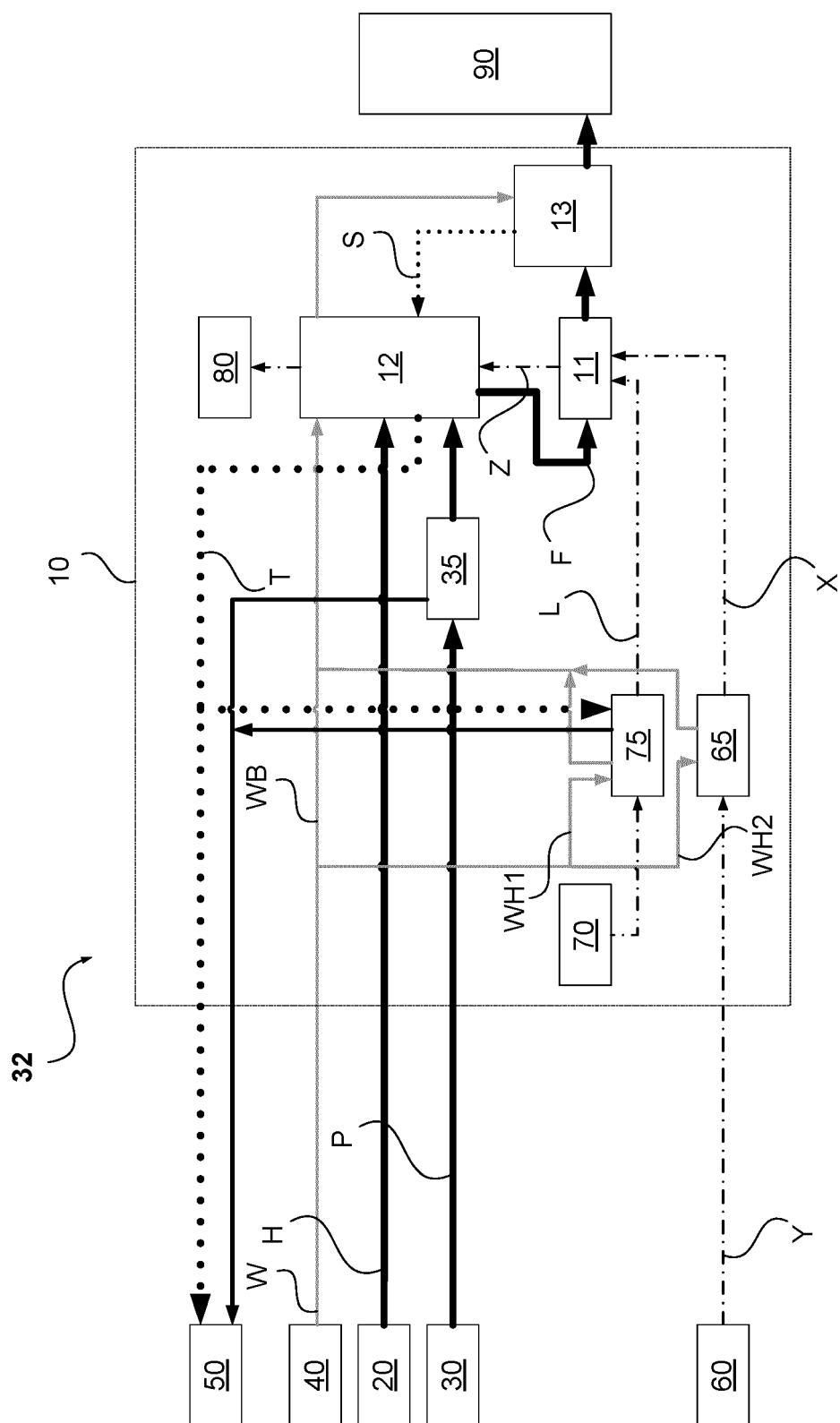
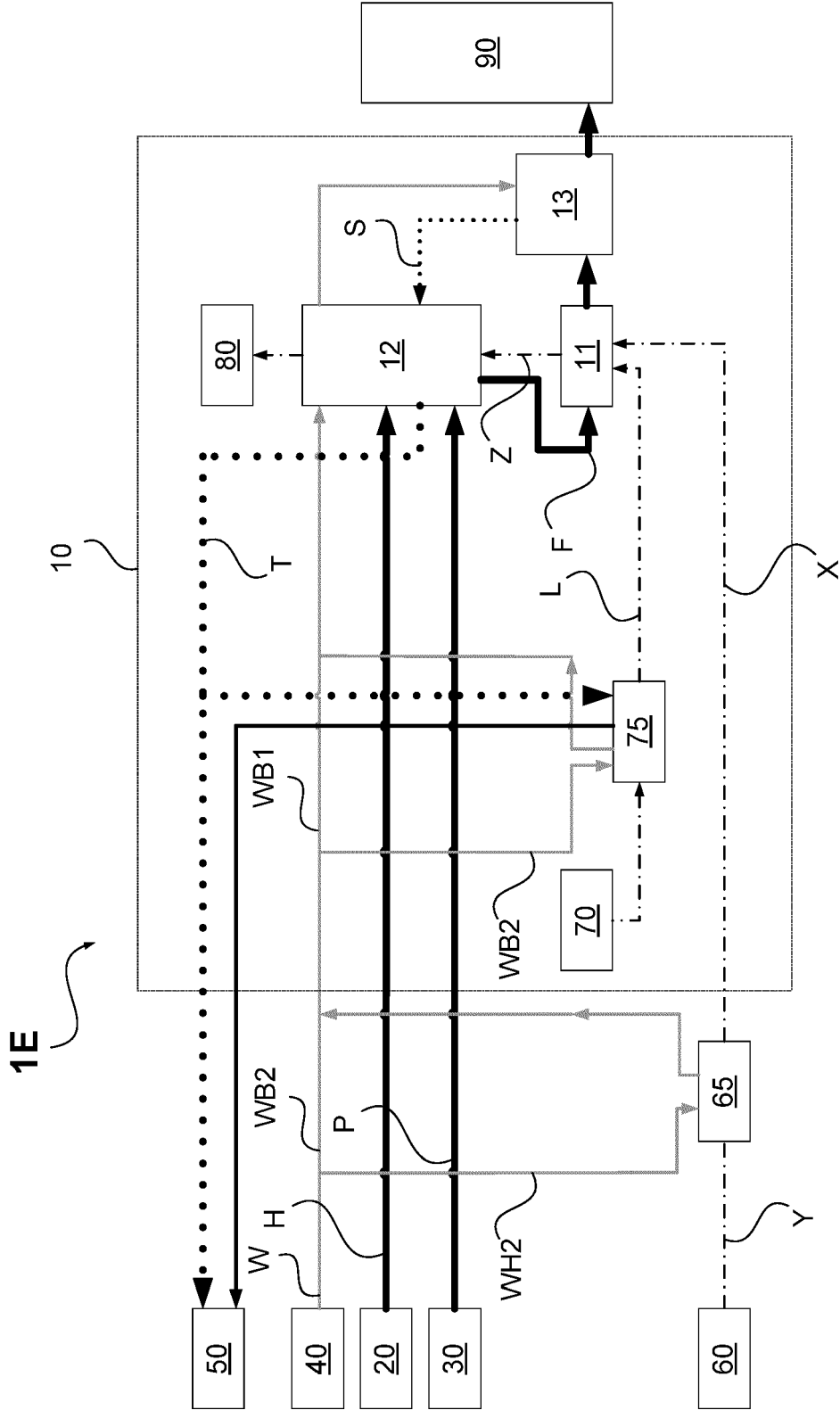


Fig. 7



**Fig. 8**



**Fig. 9**

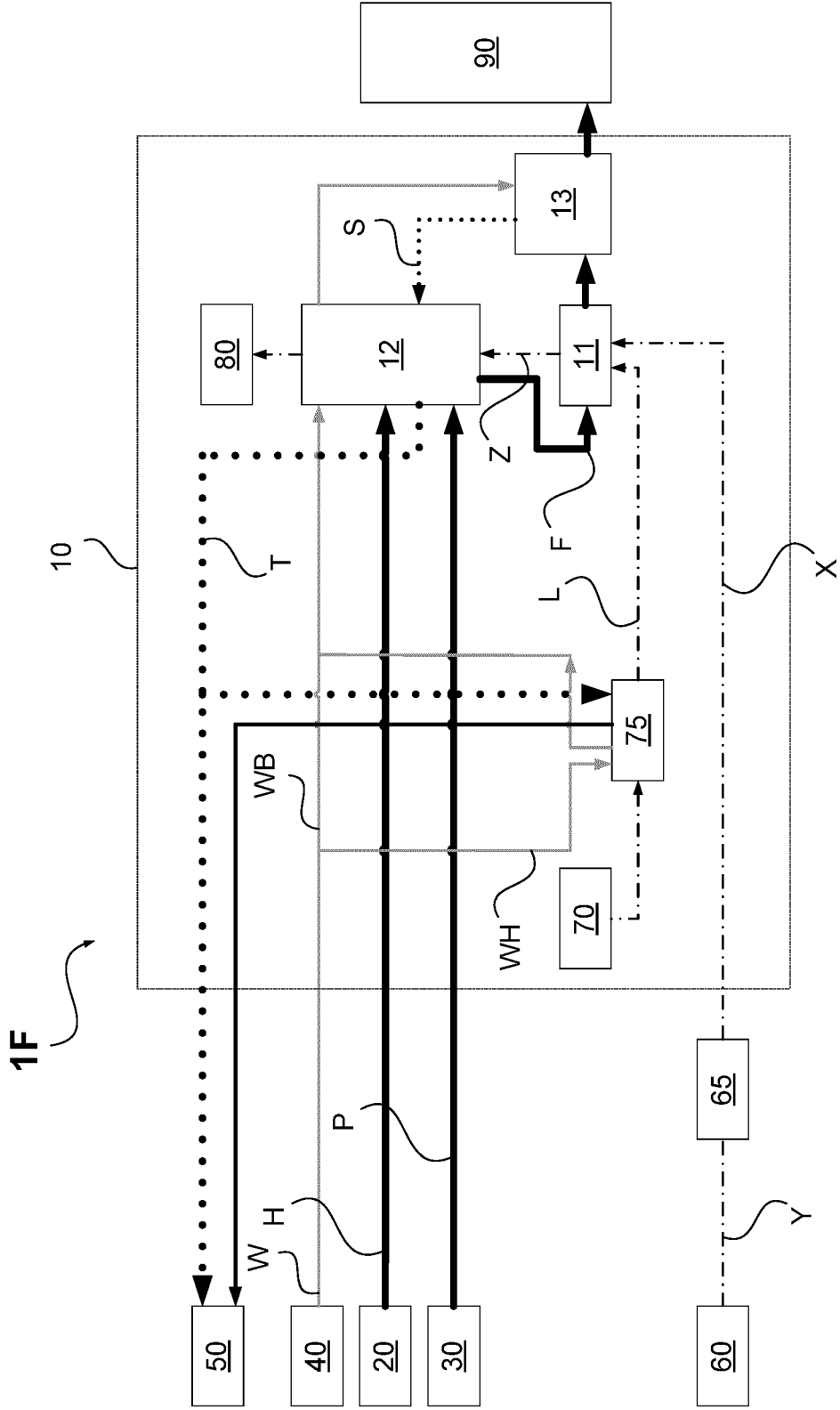


Fig. 10

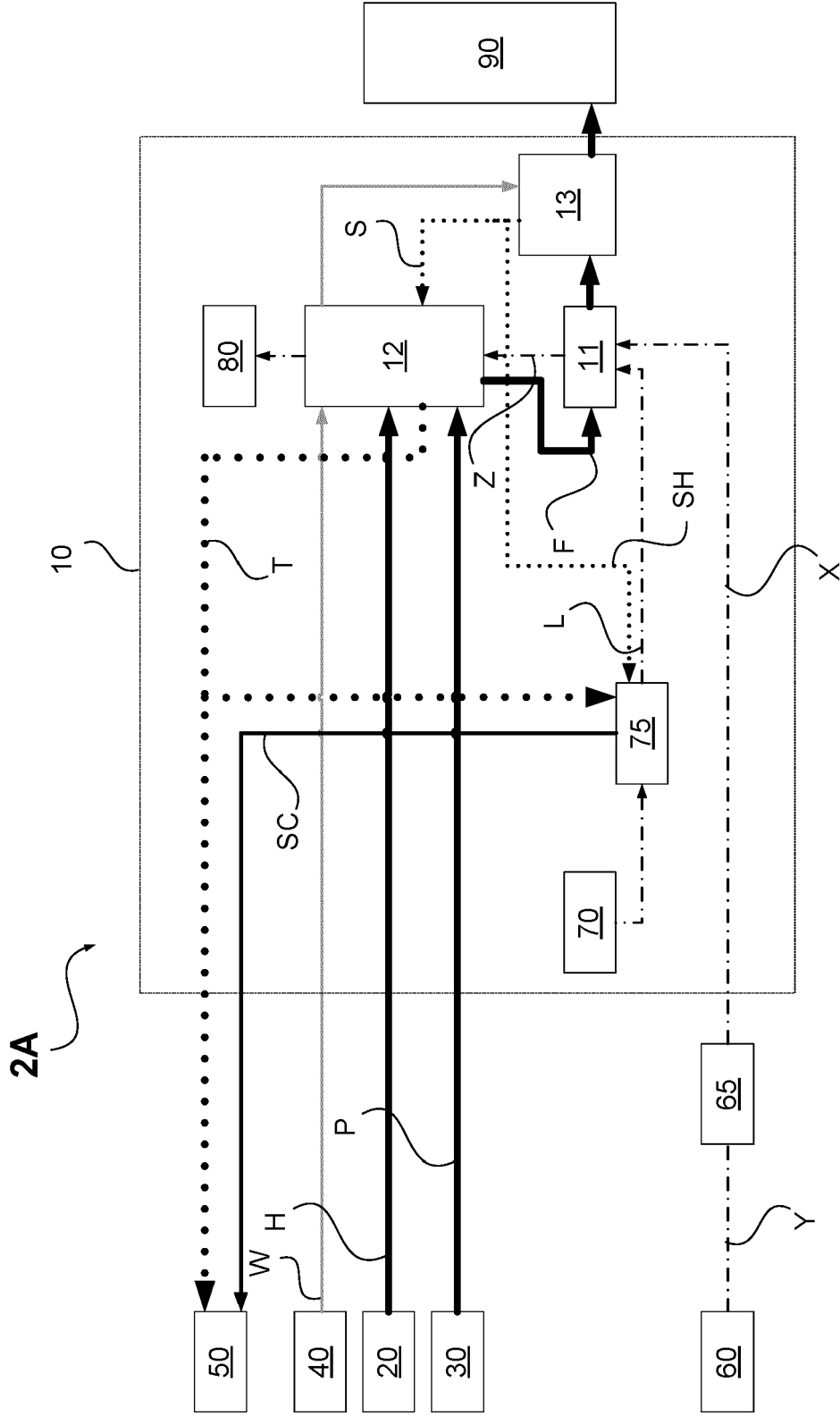


Fig. 11

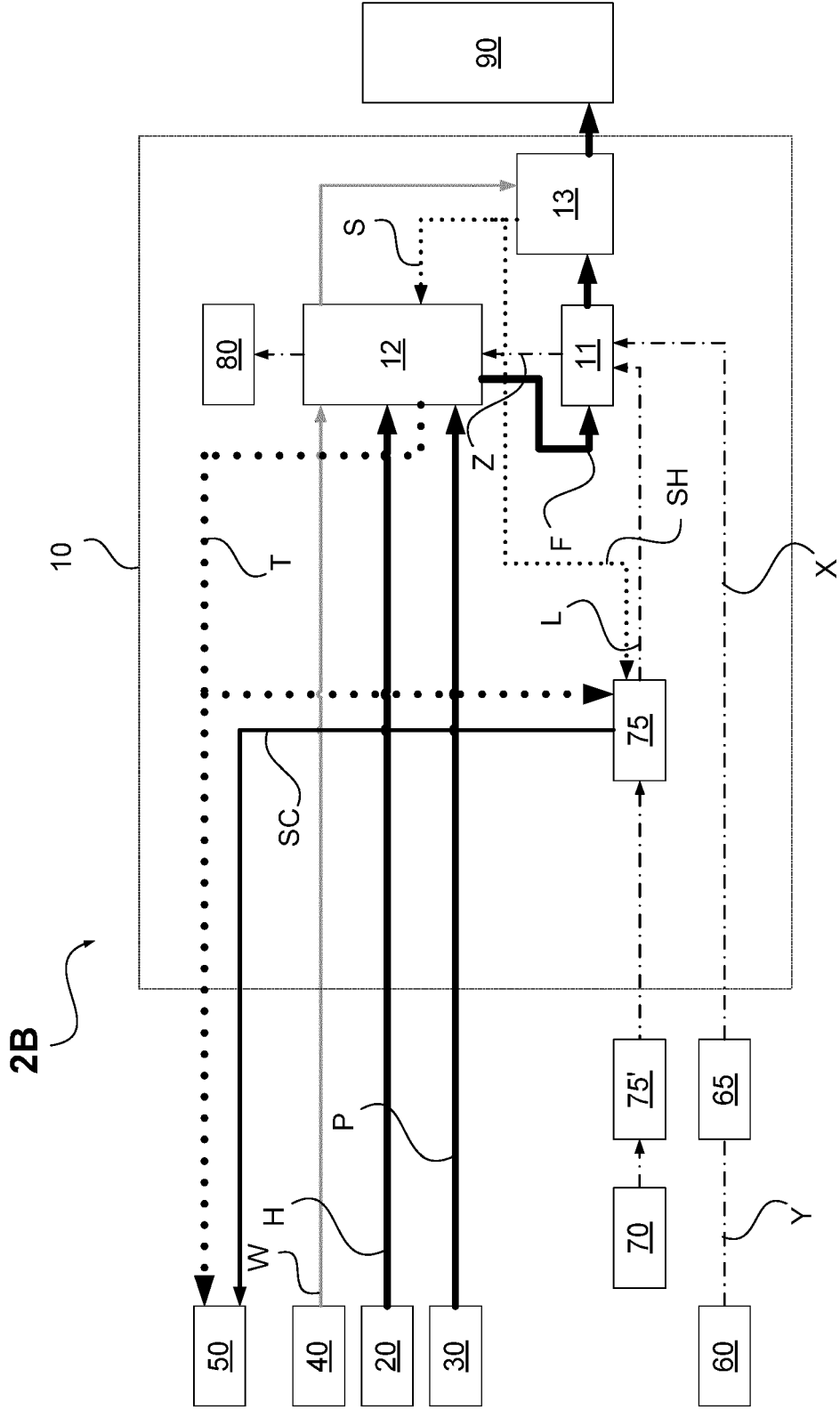


Fig. 12

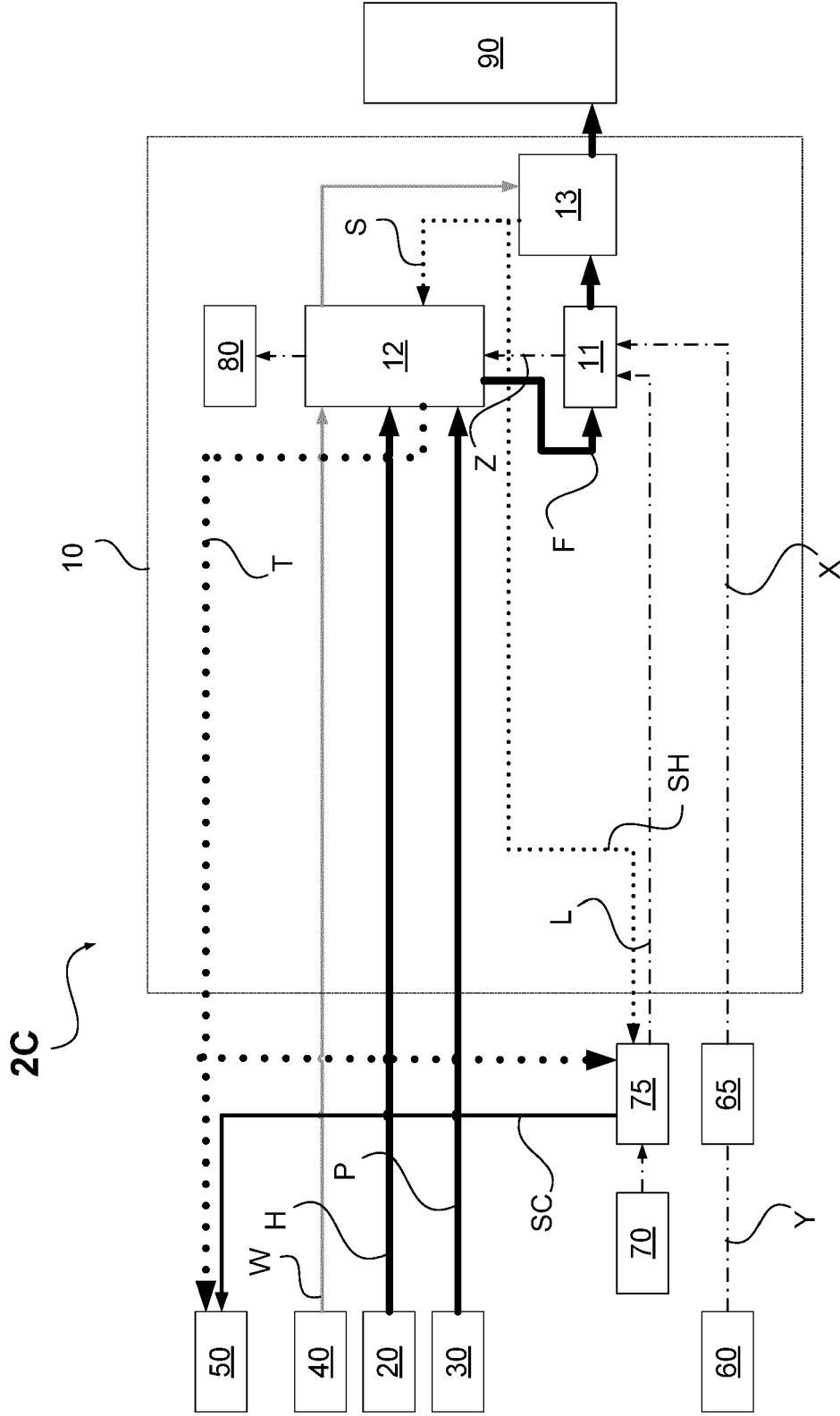


Fig. 13

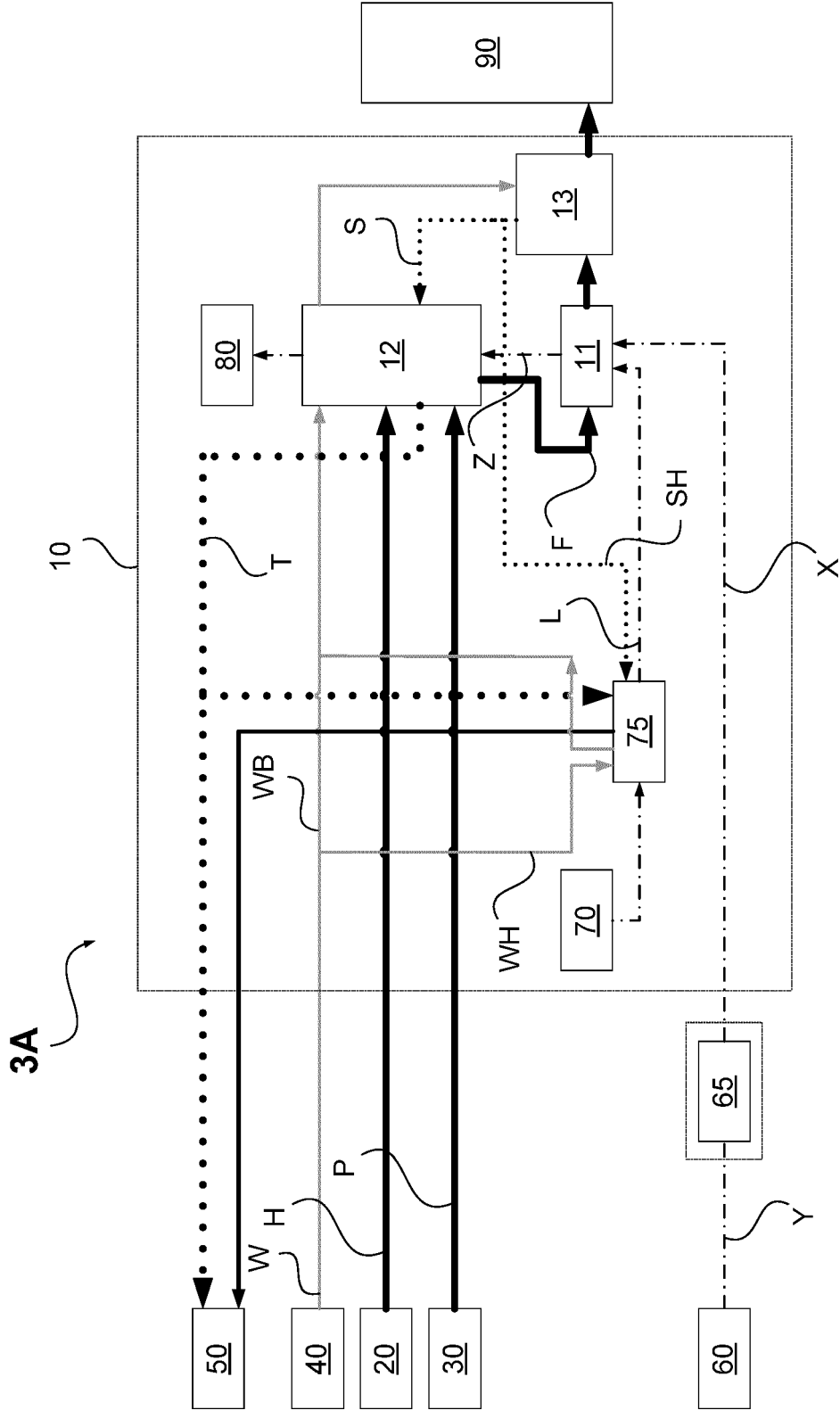


Fig. 14

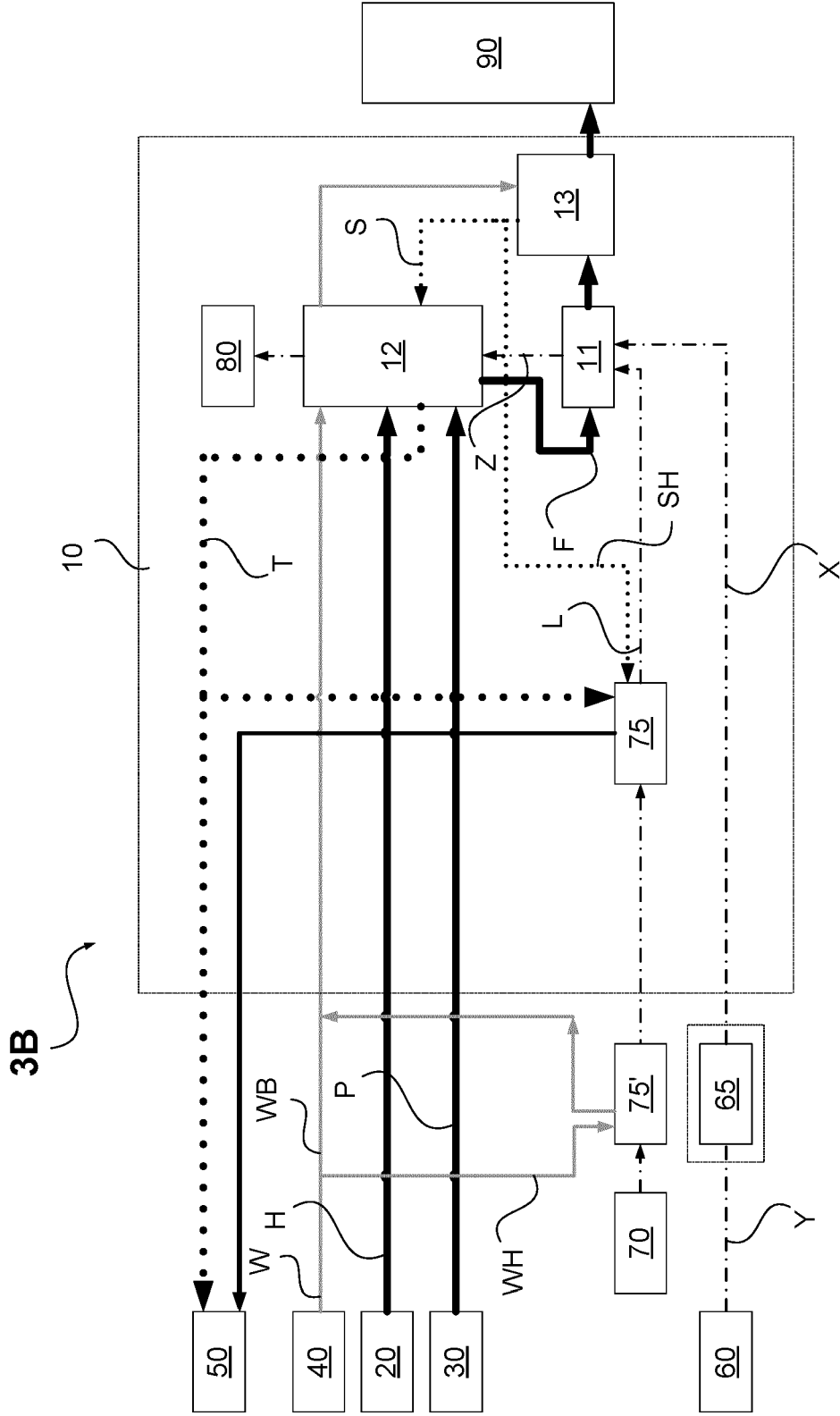


Fig. 15

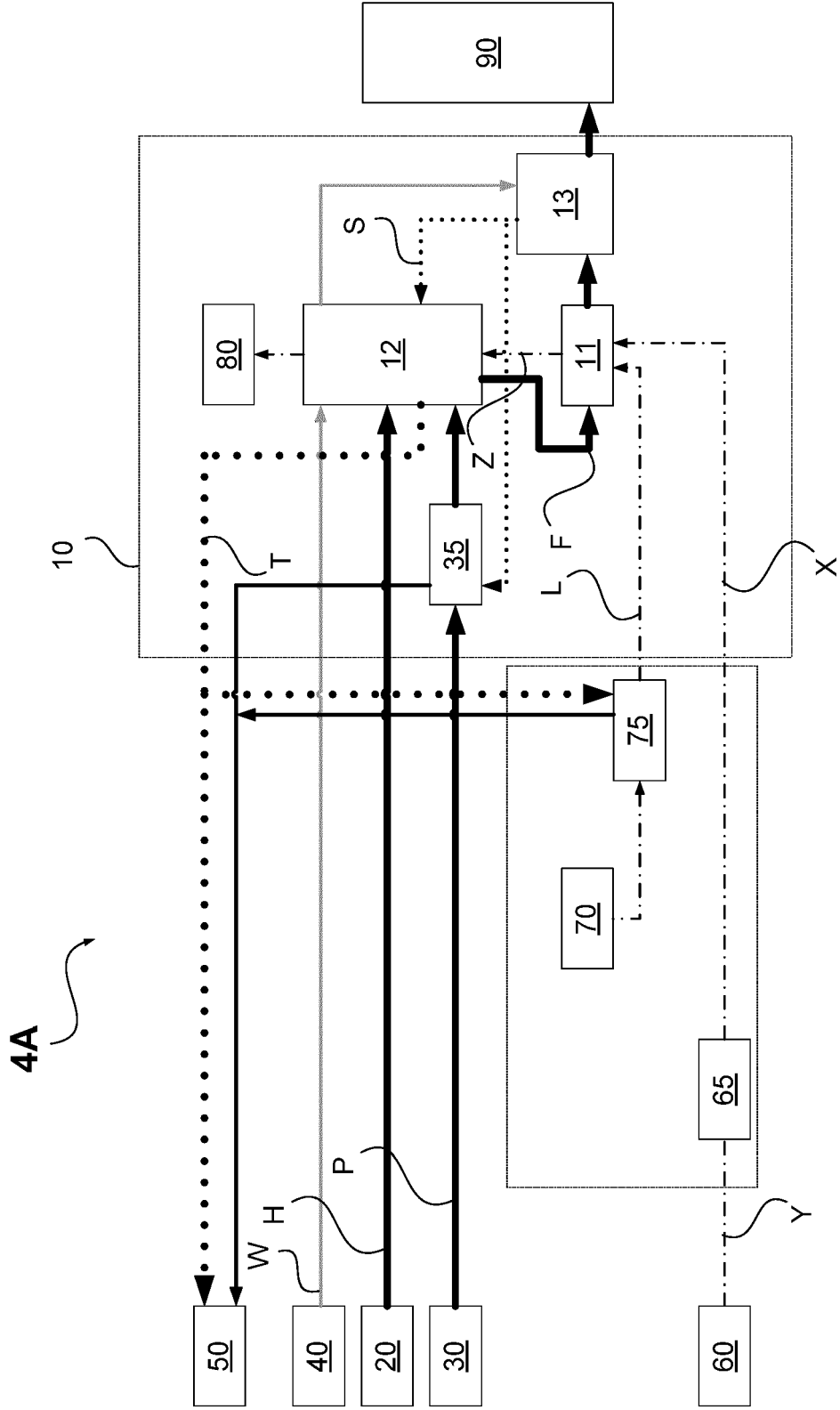
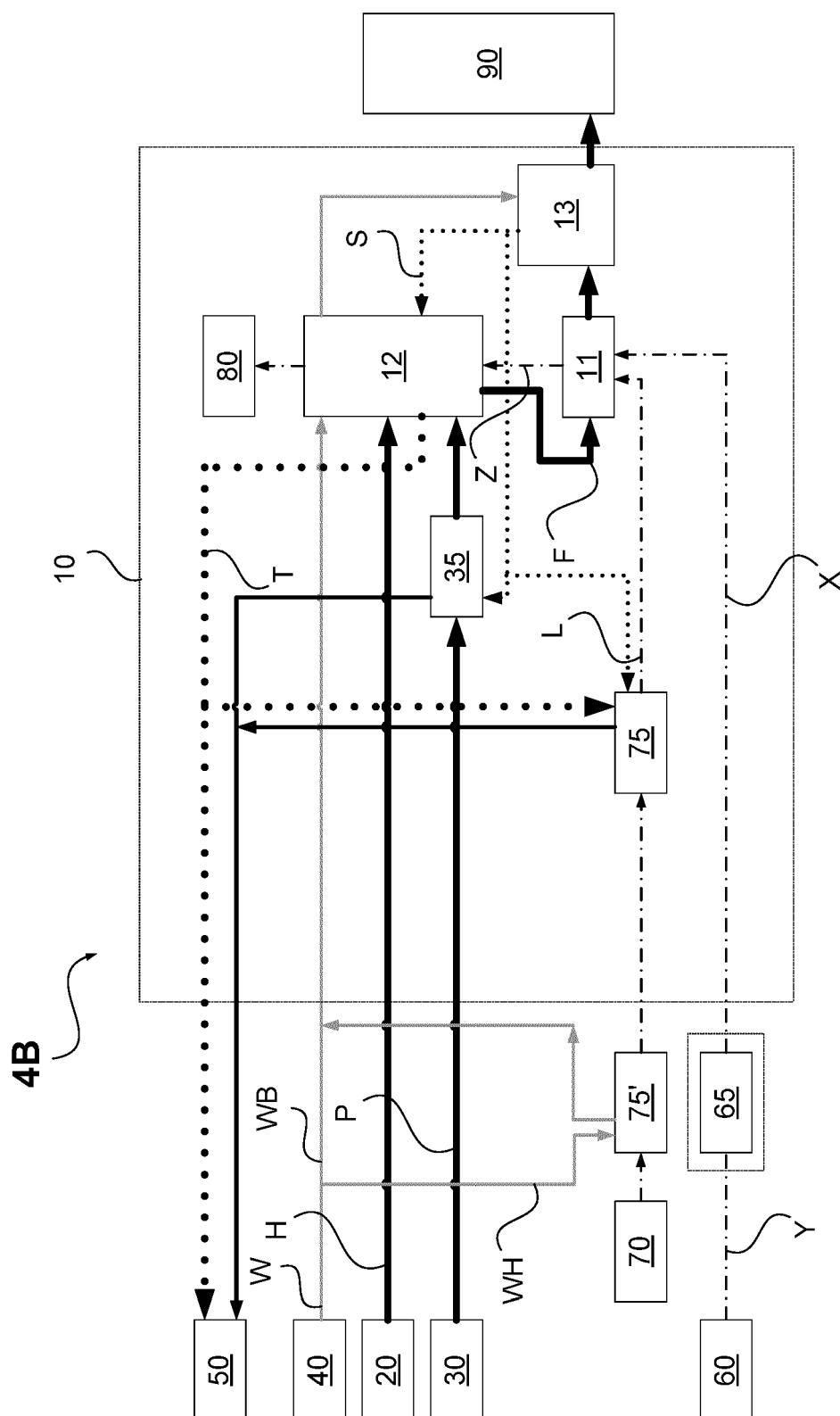


Fig. 16



**Fig. 17**

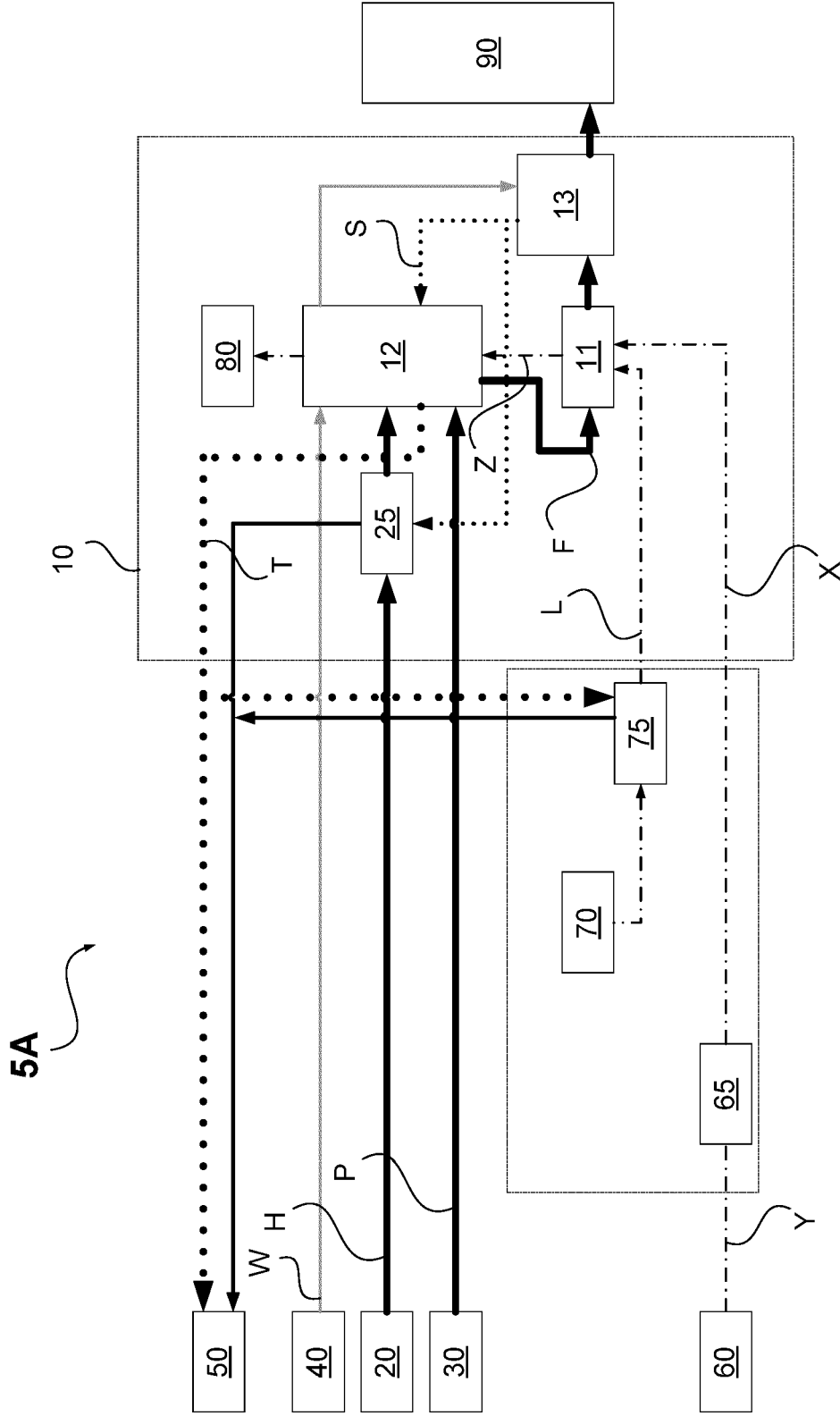
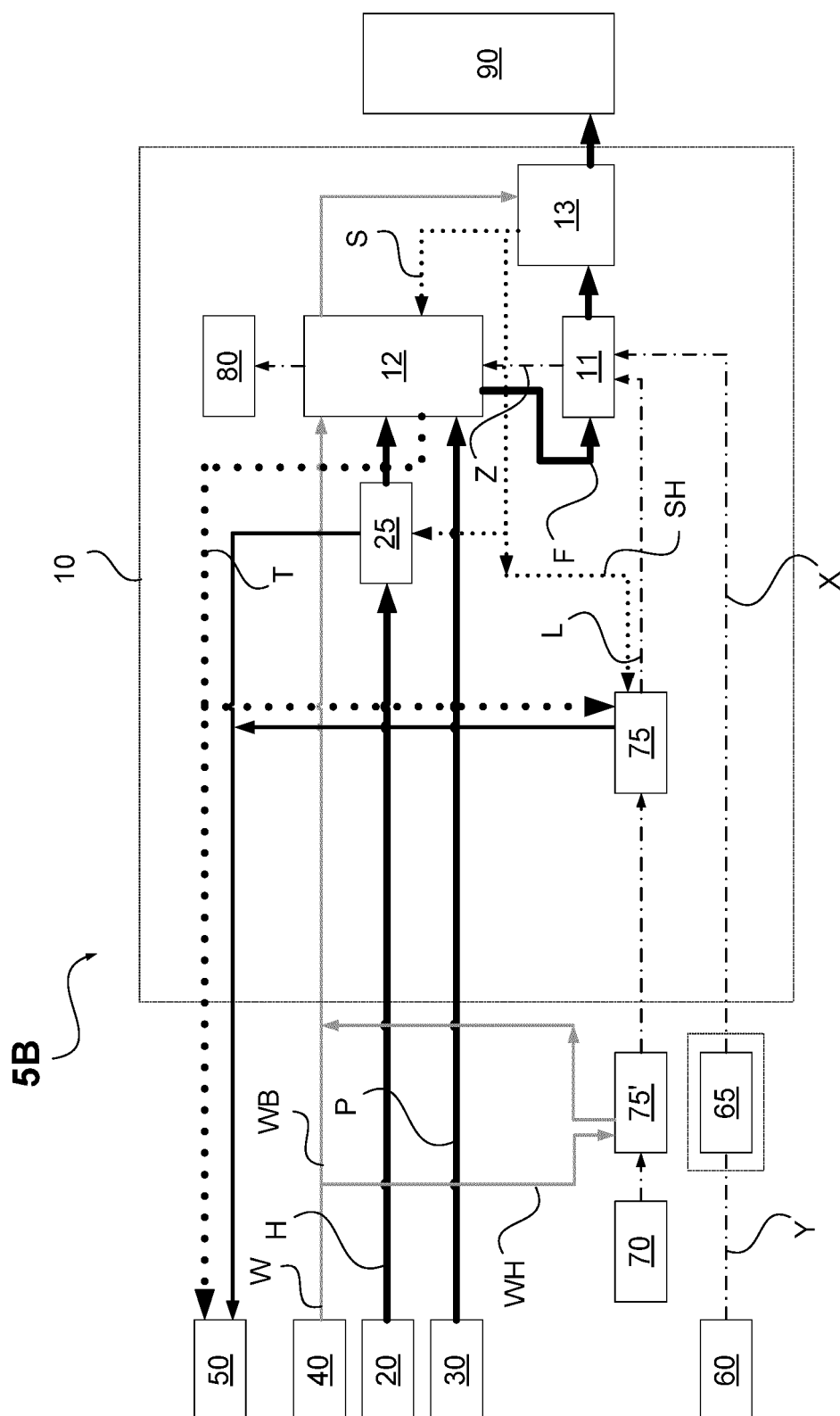
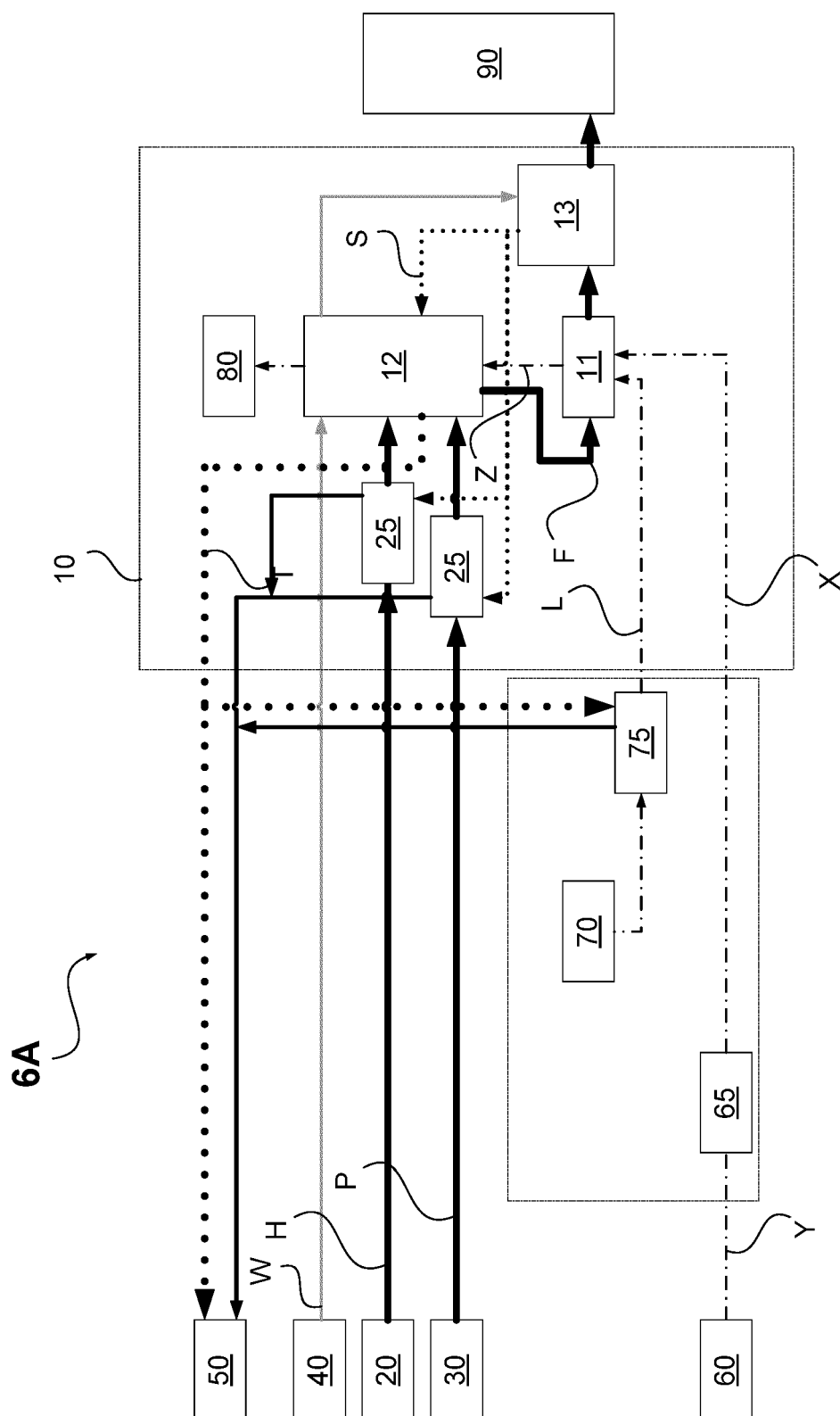


Fig. 18





**Fig. 20**

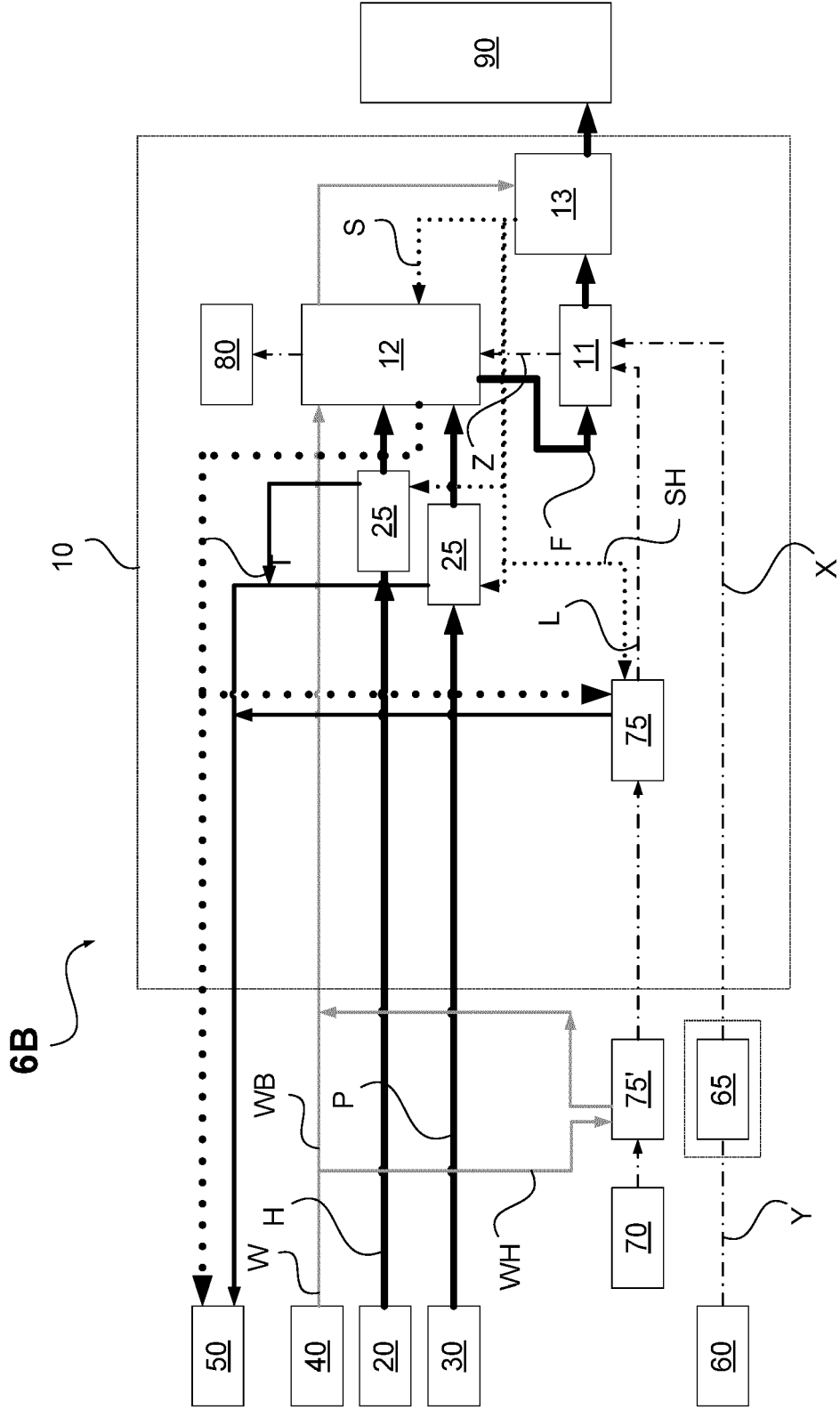


Fig. 21

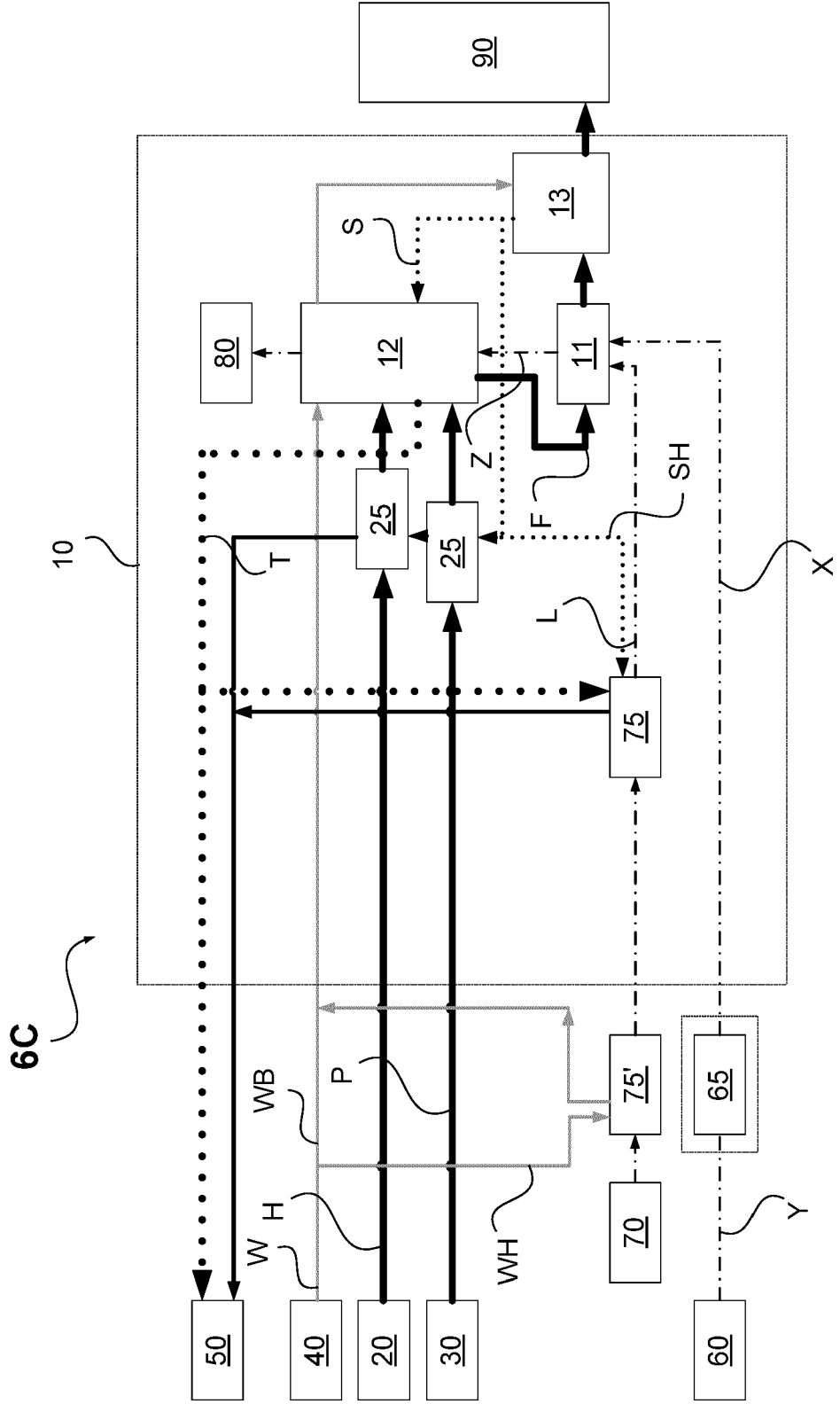


Fig. 22

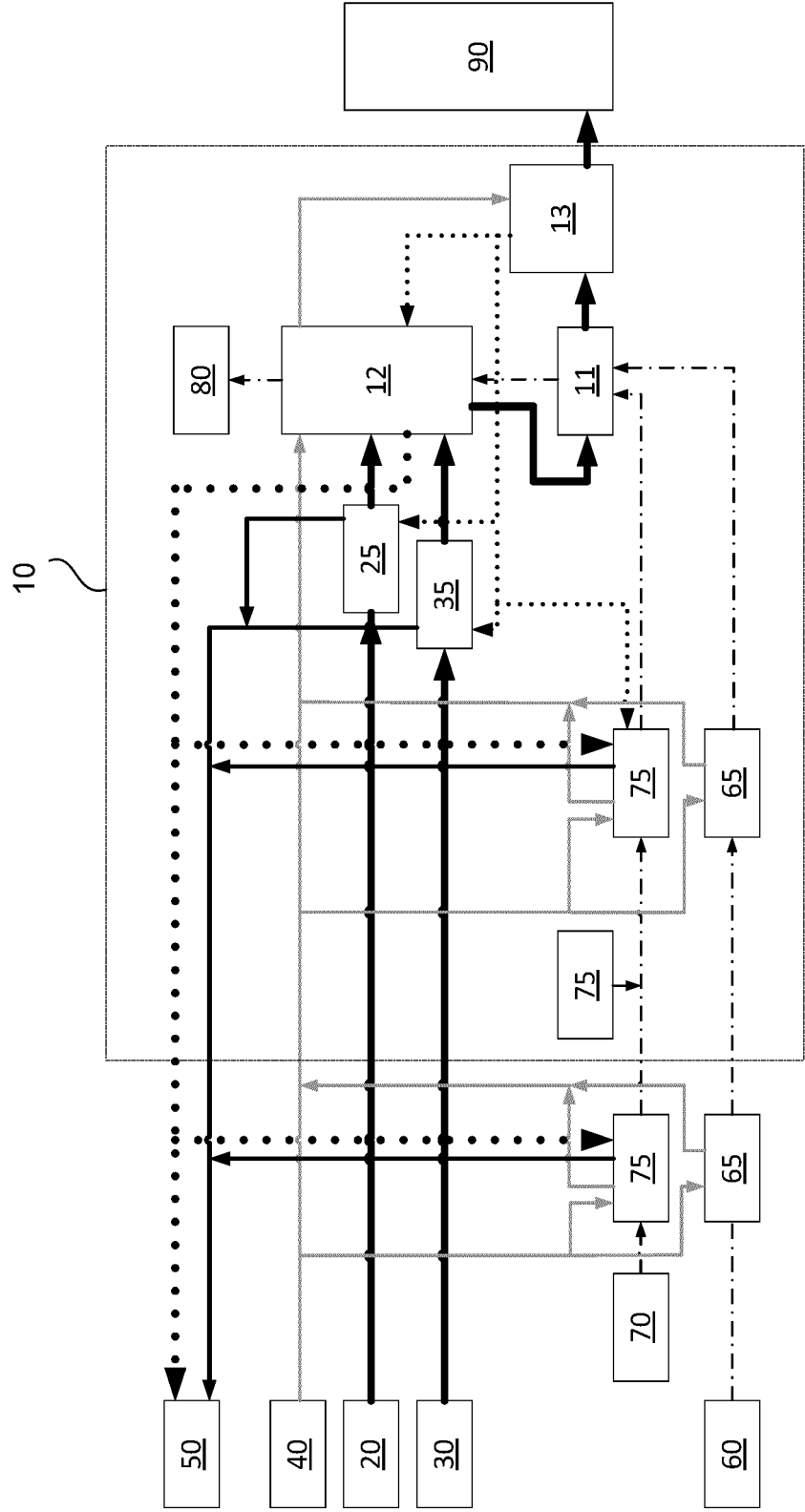


Fig. 23



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 21 16 1729

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                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 4 321 130 A (BACSIK GEORGE J)<br>23. März 1982 (1982-03-23)<br>* Anspruch 1 *<br>* Spalte 5, Zeile 10 - Spalte 6, Zeile 18;<br>Abbildung 1 * | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | INV.<br>C10G9/36                   |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2020/172814 A1 (OUD PETER [NL])<br>4. Juni 2020 (2020-06-04)<br>* Ansprüche 1, 8 *                                                           | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | C10G                               |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |
| Recherchenort<br><b>Den Haag</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                 | Abschlußdatum der Recherche<br><b>10. August 2021</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Prüfer<br><b>Pardo Torre, J</b>    |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                 | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                    |

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

EP 21 16 1729

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.

10-08-2021

|    |                                                    |    |                               |                                   |                 |                               |
|----|----------------------------------------------------|----|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 10 | Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |                 | Datum der<br>Veröffentlichung |
|    | US 4321130                                         | A  | 23-03-1982                    | AU                                | 533489 B2       | 24-11-1983                    |
|    |                                                    |    |                               | BR                                | 8007844 A       | 16-06-1981                    |
|    |                                                    |    |                               | CA                                | 1143316 A       | 22-03-1983                    |
| 15 |                                                    |    |                               | EP                                | 0030446 A1      | 17-06-1981                    |
|    |                                                    |    |                               | JP                                | H0147517 B2     | 13-10-1989                    |
|    |                                                    |    |                               | JP                                | S56125482 A     | 01-10-1981                    |
|    |                                                    |    |                               | US                                | 4321130 A       | 23-03-1982                    |
|    | -----                                              |    |                               |                                   |                 |                               |
| 20 | US 2020172814                                      | A1 | 04-06-2020                    | BR                                | 112019026847 A2 | 11-08-2020                    |
|    |                                                    |    |                               | CA                                | 3067441 A1      | 20-12-2018                    |
|    |                                                    |    |                               | EP                                | 3415587 A1      | 19-12-2018                    |
|    |                                                    |    |                               | JP                                | 2020523466 A    | 06-08-2020                    |
|    |                                                    |    |                               | KR                                | 20200017477 A   | 18-02-2020                    |
| 25 |                                                    |    |                               | RU                                | 2019142030 A    | 16-07-2021                    |
|    |                                                    |    |                               | SG                                | 11201912189V A  | 30-01-2020                    |
|    |                                                    |    |                               | US                                | 2020172814 A1   | 04-06-2020                    |
|    |                                                    |    |                               | WO                                | 2018229267 A1   | 20-12-2018                    |
|    | -----                                              |    |                               |                                   |                 |                               |
| 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 Patentedokumente**

- US 3426733 A **[0019]**
- EP 0229939 B1 **[0019]**
- EP 3415587 A1 **[0019] [0023] [0070]**
- DE 102004020223 A1 **[0019]**
- WO 2013178446 A1 **[0019]**

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- Ethylene. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 15. April 2009 **[0002]**