"Computerimplementiertes Verfahren zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers"

GEBIET DER ERFINDUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Verkokung eines Reaktorrohres eines Steam Crackers sowie ein Verfahren zur Bestimmung der Alterung eines Reaktorrohres eines Steam Crackers.

STAND DER TECHNIK

In Steam Crackern werden Kohlenwasserstoffe, die zum Beispiel aus Erdölfraktionen bestehen, mit Dampf vermischt und durch Rohre geleitet, welche in einem beheizten Ofen angeordnet sind. Die Kohlenwasserstoffe werden in den Reaktorrohren thermisch gespalten. Dabei entsteht ein breites Spektrum an Kohlenwasserstoffverbindungen.

Beim Steam Cracking entsteht bei der Spaltung von Kohlenwasserstoffen Koks. Dieser lagert sich während des Prozesses an den Reaktorrohrwänden ab. Diese Ablagerung wird als Verkokung bezeichnet. Dies führt zum einen zu einem erhöhten Druckverlust über die Reaktorrohre. Dabei muss das Steam Cracking bei einem kritischen Druckverlust abgebrochen werden Zum anderen muss mehr Energie zum Beheizen der Reaktorrohre aufgrund der Verkokung aufgewendet werden. Die Menge an zuführbarer Energie zum Beheizen der Reaktorrohre ist durch die Temperaturbeständigkeit der Reaktorrohre beschränkt. Daher kann die Energiezufuhr

nicht beliebig erhöht werden. Mithin muss bei einem kritischen Druckverlust oder einer limitierten Energiezufuhr der Steam Cracking Prozess gestoppt werden, um die Reaktorrohre vom Koks durch Freibrennen zu befreien.

Die Verkokung in dem Steam Cracker ist folglich ein wichtiger und beschränkender Faktor für die Steuerung eines Steam Crackers. Es sind jedoch keine Möglichkeiten bekannt, die Verkokung in dem Steam Cracker zu ermitteln, um die Steuerung des Steam Crackers zu optimieren. Erschwerend kommt hinzu, dass der Steam Cracking Prozess ein transientes Verhalten zeigt, da bei der Spaltung von Kohlenwasserstoffen, Verkokung sowohl aufgrund von pyrolytischer Verkokung als auch aufgrund von katalytischer Verkokung entsteht. Es ist insbesondere keine Methode bekannt, die die katalytische Verkokung getrennt von der pyrolytischen Verkokung in-situ nachweisen kann.

Während die pyrolytische Verkokung vor allem durch das Gemisch aus Erdölfraktionen und Dampf bestimmt wird, wird die katalytische Verkokung maßgeblich durch den Korrosionsfortschritt der Reaktorrohre beeinflusst. So zeigen Rohre mit fortgeschrittener Korrosion eine höhere katalytische Verkokung. Daher ist besonders die Ermittlung der katalytischen Verkokung von Interesse, um auf den Korrosionsfortschritt zu schließen. Der Korrosionsfortschritt korreliert direkt mit der Alterung der Reaktorrohre.

Es ist somit die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein effizientes und einfach durchführbares Verfahren zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers vorzuschlagen, wobei die Verkokung präzise ermittelt wird und die Steuerung des Steam Crackers erleichtert wird. Ferner ist es die Aufgabe der Erfindung ein computerimplementiertes Verfahren zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers vorzuschlagen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe durch ein computerimplementiertes Verfahren zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers gelöst, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

a. Erfassen eines Druckverlusts des Steam Crackers und/oder eines Temperaturverlaufs des Steam Crackers,
b. Definieren einer Verkokung des Steam Crackers,
c. Simulieren eines Druckverlusts des Steam Crackers und/oder Simulieren eines Temperaturverlaufs des Steam Crackers basierend auf der in Schritt b. definierten Verkokung,

d. Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des in Schritt c. simulierten Druckverlusts an den in Schritt a. erfassten Druckverlust und/oder Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des in Schritt c. simulierten Temperaturverlaufs an den in Schritt a. erfassten Temperaturverlauf,
e. Ausgabe der in Schritt d. korrigierten Verkokung des Steam Crackers.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die Verkokung des Steam Crackers präzise ermittelt werden. Hierdurch kann die Steuerung des Steam Crackers erleichtert und verbessert werden. Insbesondere ist das erfindungsgemäße Verfahren besonders effizient und einfach durchführbar.

Die Verkokung eines Steam Crackers kann die Ablagerung von Koks auf der Innenoberfläche des Steam Crackers sein. Die Verkokung kann dabei einen limitierenden und wichtigen Einfluss auf die Steuerung des Steam Crackers haben. Die Verkokung kann insbesondere als Funktion des Verlaufs des Steam Crackers beschrieben werden. Somit kann die Verkokung entlang des Steam Crackers variabel beschrieben werden. Die Verkokung kann die Dicke des Koks pro Fläche auf der Innenoberfläche des Steam Crackers sein. Die Verkokung kann auch als Verkokungsrate angegeben werden. Dies kann insbesondere für alle offenbarten Verkokungen gelten.

Das Erfassen des Druckverlusts des Steam Crackers in Schritt a. kann durch die Messung mit einem Drucksensor erfolgen. Der in Schritt a. erfasste Druckverlust kann die Differenz des Eingangsdrucks und des Ausgangsdrucks des Steam Crackers sein. Das Erfassen der Druckverlusts umfasst jede Möglichkeit zur Bestimmung des Druckverlustes. Der in Schritt a. erfasste Druckverlust kann insbesondere der real vorliegende Druckverlust des Steam Crackers sein.

Das Erfassen des Temperaturverlaufs des Steam Crackers in Schritt a. kann durch die Messung mit einem Temperatursensor wie beispielsweise einem Thermostat, einem Thermoelement, einer Thermokamera und/oder einer Infrarotkamera erfolgen. Der in Schritt a. erfasste Temperaturverlauf kann insbesondere für den gesamten Steam Cracker mit mindestens einem Temperatursensor erfasst werden. Der Temperaturverlauf des Stream Crackers kann aus mindestens einer lokalen Temperaturmessung und der Interpolation des Temperaturverlaufs basierend auf der mindestens einen lokalen Temperaturmessung bestimmt werden.

Der Temperaturverlauf des Steam Crackers kann der Temperaturverlauf der Reaktorrohre des Steam Crackers, insbesondere der Außenoberfläche der Reaktorrohre des Steam Crackers, sein.

Das Definieren einer Verkokung des Steam Crackers in Schritt b. kann die Festlegung eines Wertes für die Verkokung sein. Die Verkokung kann hierbei frei definiert werden. Hierzu kann die Verkokung durch Abschätzung, aus Erfahrungswerten und/oder basierend auf Simulationen definiert werden. Die in Schritt b. definierte Verkokung kann insbesondere nicht auf Messwerten beruhen.

Das Simulieren eines Druckverlusts in Schritt c. basierend auf der in Schritt b. definierten Verkokung kann die Simulation des Druckverlusts des Steam Crackers sein, wobei als Annahme für die Simulation, die in Schritt b. definierte Verkokung herangezogen werden kann. Die Simulation kann auf einem Rechner, einem Server oder einem ähnlichen Gerät erfolgen. Der in Schritt c. simulierte Druckverlust kann insbesondere nicht am Steam Cracker gemessen worden sein. Der in Schritt c. simulierte Druckverlust kann insbesondere nur berechnet sein.

Das Simulieren eines Temperaturverlaufs des Steam Crackers in Schritt c. basierend auf der in Schritt b. definierten Verkokung kann die Simulation des Temperaturverlaufs des Steam Crackers sein, wobei als Annahme für die Simulation, die in Schritt b. definierte Verkokung herangezogen werden kann. Die Simulation kann auf einem Rechner, einem Server oder einem ähnlichen Gerät erfolgen. Der in Schritt c. simulierte Temperaturverlauf kann insbesondere nicht am Steam Cracker gemessen worden sein. Der in Schritt c. simulierte Temperaturverlauf kann insbesondere nur berechnet sein.

Die Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des in Schritt c. simulierten Druckverlusts an den in Schritt a. erfassten Druckverlust und/oder die Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des in Schritt c. simulierten Temperaturverlaufs an den in Schritt a. erfassten Temperaturverlauf kann eine Erhöhung oder Reduzierung der Verkokung sein. Mit anderen Worten kann die Dicke des Koks pro Fläche auf der Innenoberfläche des Steam Crackers korrigiert werden. Auf diese Weise kann aus der in Schritt b. definierten Verkokung die korrigierte Verkokung ermittelt werden. Die korrigierte Verkokung kann der realen Verkokung des Steam Crackers entsprechen. Die Korrektur der Verkokung in Schritt d. kann hierbei nur berechnet werden. Die Korrektur in Schritt d. kann losgelöst vom Steam Cracker erfolgen.

Die Ausgabe der in Schritt d. korrigierten Verkokung des Steam Crackers kann die Wiedergabe der in Schritt d. korrigierten Verkokung sein. Die Ausgabe kann hierbei für einen Bediener verständlich ausgegeben werden. Die Ausgabe kann beispielsweise als Zahl, Funktion, oder Grafik ausgegeben werden. Die Ausgabe kann visuell und/oder akustisch ausgegeben werden. Die Ausgabe kann die Übertragung der

Information über die in Schritt d. korrigierten Verkokung des Steam Crackers sein. Die Übertragung kann dabei zur weiteren Verwendung in einem anderen Verfahren oder für weitere Bestimmungen, beispielsweise die Bestimmung der katalytische Verkokung, genutzt werden.

Das Verfahren ist ein computerimplementiertes Verfahren und kann somit auf einem Computer wie beispielsweise einem Server, einem Laptop, einem Personal Computer oder ähnlichem durchgeführt werden. Ein computerimplementiertes Verfahren kann beispielsweise derart verstanden werden, dass der Computer einige oder alle Schritte des Verfahrens ausführt. Dabei kann unter dem Computer eine physische Vorrichtung mit Hardware-Komponenten verstanden werden.

Ferner wird eine Vorrichtung eingerichtet zur Ausführung des Verfahrens zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers und/oder zur Ausführung des Verfahrens zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers offenbart, wobei die Vorrichtung Mittel eingerichtet zur Ausführung der offenbarten Verfahren umfasst. Die Vorrichtung ist beispielsweise eine Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers und/oder zur Ausführung des Verfahrens zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers.

Die Mittel können Hardware- Komponenten und/oder Software-Komponenten umfassen. Die Mittel können beispielsweise mindestens einen Speicher mit Programmanweisungen eines Computerprogramms (z.B. des unten offenbarten Computerprogramms) und mindestens einen Prozessor ausgebildet zum Ausführen von Programmanweisungen aus dem mindestens einen Speicher umfassen. Dementsprechend soll auch eine Vorrichtung als offenbart verstanden werden, die zumindest einen Prozessor und zumindest einen Speicher mit Programmanweisungen umfasst, wobei der zumindest eine Speicher und die Programmanweisungen eingerichtet sind, gemeinsam mit dem zumindest einen Prozessor, die Vorrichtung zu veranlassen, das offenbarte Verfahren auszuführen.

Alternativ oder zusätzlich können die Mittel ferner eine oder mehrere Kommunikationsschnittstellen (z.B. einen oder mehrere drahtgebundene und/oder drahtlose Kommunikationsschnittstellen, z.B. eine drahtlose Kommunikationsschnittstellen in Form einer Funkschnittstelle) und/oder eine oder mehrere Benutzerschnittstellen (z.B. eine Tastatur, eine Maus, einen Bildschirm, einen berührungsempfindlichen Bildschirm, einen Lautsprecher, ein Mikrofon, usw.) umfassen. Es versteht sich, dass die offenbarte Vorrichtung auch andere nicht aufgeführte Mittel umfassen kann.

Ferner wird ein Computerprogramm offenbart, wobei das Computerprogramm Programmanweisungen umfasst, die dazu ausgebildet sind, bei Ausführung durch mindestens einen Prozessor einen Computer zu veranlassen, die offenbarten Verfahren auszuführen.

Das offenbarte Computerprogramm ist beispielsweise auf einem computerlesbaren Speichermedium enthalten und/oder gespeichert. Unter einem computerlesbaren Speichermedium soll beispielsweise ein physisches und/oder berührbares Speichermedium verstanden werden

In einem Ausführungsbeispiel kann die Korrektur gemäß Schritt d. der in Schritt b. definierten Verkokung iterativ erfolgen, wobei die Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des simulierten Druckverlusts an den erfassten Druckverlust gemäß Schritt d. und/oder die Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des simulierten Temperaturverlaufs an den erfassten Temperaturverlauf gemäß Schritt d. die folgenden Schritte umfassen kann:

d.1. Vergleichen des simulierten Druckverlusts mit dem erfassten Druckverlust und/oder Vergleichen des simulierten Temperaturverlaufs mit dem erfassten Temperaturverlauf,
d.2. Korrigieren der in Schritt b. definierten Verkokung,
d.3. Simulieren des Druckverlusts des Steam Crackers basierend auf der in Schritt d.2 korrigierten Verkokung und/oder Simulieren des Temperaturverlaufs des Steam Crackers basierend auf der in Schritt d.2 korrigierten Verkokung.

Durch die iterative Korrektur kann die Korrektur und damit das Verfahren besonders präzise die Verkokung des Steam Crackers ermitteln. Dadurch kann die Steuerung des Steam Crackers erleichtert sein. Das Verfahren kann zudem besonders effizient und einfach durchführbar sein. Wenn das Verfahren die Schritte d1. bis d.3 umfassen kann, kann das Verfahren besonders stabil und damit besonders effizient sein.

Iterativ kann bedeuten, dass die Korrektur wiederholt werden kann, beispielsweise bis der simulierte Druckverlust dem erfassten Druckverlust entsprechen kann.

In einem Ausführungsbeispiel kann die in Schritt b. definierte Verkokung durch die pyrolytische Verkokung im Steam Cracker definiert werden.

Auf diese Weise kann die in Schritt b. definierte Verkokung besonders gut ermittelt werden, da die in Schritt b. definierte Verkokung sehr nah an der realen Verkokung des Steam Crackers liegen kann. Somit kann die Simulation in Schritt c. besonders genau sein. Hierdurch kann mit dem Verfahren die Verkokung des Steam Crackers besonders

präzise und effizient ermittelt werden. Dadurch kann die Steuerung des Steam Crackers erleichtert und verbessert werden.

Die pyrolytische Verkokung kann die Verkokung des Steam Crackers durch das Gemisch aus Erdölfraktionen und Dampf sein.

In einem Ausführungsbeispiel kann das computerimplementierte Verfahren den Verfahrensschritt umfassen:

f. Ermittlung einer katalytischen Verkokung durch Abzug der pyrolytischen Verkokung von der in Schritt d. korrigierten Verkokung und Ausgabe der katalytischen Verkokung.

Auf diese Weise kann die Verkokung des Steam Crackers präzise ermittelt werden, da die einzelnen Anteile, insbesondere die pyrolytische Verkokung und die katalytische Verkokung, der Verkokung präzise bestimmt werden können. Somit können sowohl der Anteil der pyrolytischen Verkokung als auch der Anteil der katalytischen Verkokung an der gesamten Verkokung bestimmt werden. Somit kann die Ursache für die Verkokung besser eingeschätzt werden, sodass die Steuerung des Steam Crackers erleichtert und verbessert werden kann. Insbesondere kann auf diese Weise die Ermittlung der Verkokung und vor allem der pyrolytischen Verkokung sowie der katalytischen Verkokung besonders effizient und einfach durchführbar sein.

Die katalytischen Verkokung kann die Bildung von Koks aufgrund der katalytischen Reaktion des Gases an der Innenoberfläche der Rohre sein. Beispielsweise kann die katalytischen Verkokung abhängig von der der chemischen Zusammensetzung der Innenoberfläche der Rohre sein. Ein katalytisch inaktives Materiale, wie beispielsweise Chromoxid, Siliziumoxid und/oder Aluminiumoxid, kann die katalytischen Verkokung vermindern. Das katalytisch inaktive Material kann insbesondere eine Schicht an der Innenoberfläche bilden. Katalytisch aktive Materialen, wie beispielsweise Nickel und/oder Eisen, können die katalytischen Verkokung unterstützen.

Insbesondere kann bei der Durchführung des Schritts f. die Ausgabe der in Schritt d. korrigierten Verkokung des Steam Crackers gemäß Schritt e. durch die Ausgabe der katalytischen Verkokung nach Schritt f. ersetzt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die pyrolytischen Verkokung und/oder die in Schritt b. korrigierten Verkokung ausgegeben werden.

In einem Ausführungsbeispiel kann in Schritt a. mindestens ein Prozessparameter des Steam Crackers erfasst werden, und wobei in Schritt b. der simulierte Druckverlust und/oder in Schritt b. der simulierte Temperaturverlauf zusätzlich basierend auf dem mindestens einen Prozessparameter des Steam Crackers simuliert werden kann.

Auf diese Weise kann das Verfahren präziser werden. Zudem kann mit dem mindestens einen Prozessparameter das Verfahren effizienter und einfacher durchführbar werden, da die Simulation des Druckverlustes in Schritt c. besser werden kann. Dadurch kann auch die Steuerung des Steam Crackers erleichtert werden.

Der mindestens eine Prozessparameter kann ein Wert oder eine Eigenschaft des Steam Crackers oder des Steam Cracking Prozesses sein. Der mindestens eine Parameter kann einen Einfluss auf die Verkokung und/oder den Druckverlust des Steam Crackers haben. Der mindestens eine Parameter kann in die Simulation in Schritt c. eingebunden werden.

In einem Ausführungsbeispiel kann der mindestens eine Prozessparameter eine der folgenden Größen und/oder Eigenschaften repräsentieren:

- eine Geometrie des Steam Crackers,
- einen Eingangsdruck,
  wobei insbesondere der Eingangsdruck mittels eines Drucksensors ermittelt werden kann,
- einen Ausgangsdruck,
  wobei insbesondere der Ausgangsdruck mittels eines Drucksensors ermittelt werden kann,
- einen Massenstrom,
  wobei insbesondere der Massenstrom mittels eines Massenstromsensors erfasst werden kann,
- mindestens ein Eingangsprodukt,
  wobei insbesondere das mindestens eine Eingangsprodukt mittels einer PIONA-Analyse und/oder einer Gaschromatographie insbesondere multidimensionaler Gaschromatographie, ermittelt werden kann,
- mindestens ein Ausgangsprodukt,
  wobei insbesondere das mindestens eine Ausgangsprodukt mittels Residual Gas Analysis und/oder Gaschromatographie, insbesondere multidimensionaler Gaschromatographie, ermittelt werden kann,
- ein Dampfverhältnis,
- eine Einlasstemperatur des mindestens einen Eingangsprodukts,
  wobei insbesondere die Einlasstemperatur mittels eines Temperatursensors bestimmt werden kann,
- eine Auslasstemperatur des mindestens einen Ausgansprodukts,
  wobei insbesondere die Auslasstemperatur mittels eines Temperatursensors bestimmt werden kann,
- ein Wärmestromprofil,
- eine Zeit,

wobei insbesondere die Zeit mittels einer Zeitmessvorrichtung gemessen werden kann.

Auf diese Weise kann das Verfahren präziser werden, da der mindestens eine Prozessparameter die Verkokung des Steam Crackers stark beeinflussen kann. Zudem kann mit dem mindestens einen Prozessparameter das Verfahren effizienter und einfacher durchführbar werden, da der Druckverlustes in Schritt c. schneller und genauer aufgrund des mindestens einen Prozessparameters simuliert werden kann. Dadurch kann auch die Steuerung des Steam Crackers erleichtert werden.

Die Geometrie des Steam Crackers kann der Verlauf der Reaktorrohre des Steam Crackers sein. Die Geometrie kann aus den technischen Zeichnungen oder einer Konstruktionsdatei, wie beispielsweise einer CAD-Datei, ermittelt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Geometrie des Steam Crackers vermessen werden.

Mit der Geometrie des Steam Crackers kann das Temperaturprofil und das Verkokungsprofil ortsgenau bestimmt werden. Hierdurch kann die thermische Belastung und die Alterung der einzelnen Rohre des Steam Crackers bestimmt werden. Auf diese Weise kann mit dem Verfahren der Steam Cracker, beispielsweise durch eine Anpassung der Materialauswahl oder durch den Austausch nur von defekten Reaktorohren, effizienter werden.

Der Eingangsdruck kann der Druck des mindestens einen Eingangsprodukts am Eingang des Steam Crackers sein. Der Eingangsdruck kann der Druck sein, mit dem das mindestens eine Eingangsprodukte dem Steam Cracker zugeführt werden kann. Besonders leicht kann der Eingangsdruck mittels eines Drucksensors ermittelt werden.

Auf diese Weise kann der Druckverlust über den Steam Cracker berechnet werden, sodass das Verfahren präziser und effizienter werden kann.

Der Ausgangsdruck kann der Druck des mindestens einen Ausgangsprodukts am Ausgang des Steam Crackers sein. Der Ausgangsdruck kann der Druck sein, mit dem das mindestens eine Ausgangsprodukt aus dem Steam Cracker entweichen kann. Besonders leicht kann der Ausgangsdruck mittels eines Drucksensors ermittelt werden.

Auf diese Weise kann der Druckverlust über den Steam Cracker berechnet werden, sodass das Verfahren präziser und effizienter sein kann.

Der Massenstrom kann der Volumenstrom durch den Steam Cracker sein. Der Massenstrom kann mittels eines Massenstromsensors erfasst werden. Der Massenstrom kann beispielsweise über den Druckverlust an Messblenden und/oder

die Messung der Corioliskräfte bestimmt werden. Hieraus kann der Massenstrom berechnet werden. Der Massenstrom kann alternativ oder zusätzlich aus der Dichte als Funktion von Temperatur und Zusammensetzung bestimmt werden.

Aus dem Massenstrom kann die benötigte Energie und die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden. Diese können den Druckverlust beeinflussen, sodass das Verfahren genauer wird.

Das mindestens eine Eingangsprodukt kann das in den Steam Cracker eingeführte Produkt sein. Insbesondere können auch mehrere Eingangsprodukte vorliegen. Das mindestens eine Eingangsprodukt kann beispielsweise Ethan, Butan, andere längerkettige Paraffine, Cycloalkane oder eine Mischung aus diesen umfassen.

Das mindestens eine Eingangsprodukt kann mittels einer PIONA-Analyse und/oder einer Gaschromatographie, insbesondere multidimensionaler Gaschromatographie ermittelt werden. Das mindestens eine Eingangsprodukt kann nach DIN-EN-ISO-22854, ASTM D5134-21 oder ASTM D86-23 ermittelt werden.

Das mindestens eine Ausgangsprodukt kann das aus dem Steam Cracker abgeführte Produkt sein. Insbesondere können auch mehrere Ausgangsprodukte vorliegen. Das mindestens eine Ausgangsprodukt kann beispielsweise ein Olefin, Ethylen, Propylen, ungecracktes Ethan oder eine Mischung aus diesen umfassen.

Das mindestens eine Ausgangsprodukt kann mittels Residual Gas Analysis und/oder Gaschromatographie, insbesondere multidimensionaler Gaschromatographie, ermittelt werden. Das mindestens eine Ausgangsprodukt kann nach DIN-EN-ISO-22854, ASTM D5134-21 oder ASTM D86-23 ermittelt werden.

Das Dampfverhältnis kann das Verhältnis von Wasserdampf zu Kohlenwasserstoffen sein. Das Dampfverhältnis kann der Quotient des Massenstroms des Wasserdampfs und des Massenstroms des mindestens einen Eingangsprodukts sein. Das Dampfverhältnis kann vom dem Betreiber des Steam Crackers eingestellt werden. Das Dampfverhältnis kann auch der Steam-Oil-Ratio des Steam Crackers sein.

Die Einlasstemperatur des mindestens einen Eingangsprodukts kann die Temperatur des mindestens einen Eingangsprodukt beim Einführen in den Steam Cracker sein. Die Einlasstemperatur kann mittels eines Temperatursensors bestimmt werden. Der Temperatursensor kann ein Thermoelement, ein Pyrometer, ein optoelektronischer Sensor und/ oder eine Wärmebildkamera sein.

Die Auslasstemperatur des mindestens einen Ausgangsprodukts kann die Temperatur des mindestens einen Ausgangsprodukts beim Ausführen aus dem Steam Cracker sein. Die Auslasstemperatur kann mittels eines Temperatursensors bestimmt werden. Der Temperatursensor kann ein Thermoelement, ein Pyrometer, ein optoelektronischer Sensor und/ oder eine Wärmebildkamera sein.

Das Wärmestromprofil kann die Wärmeenergie sein, die in einer Zeitspanne von einem Ort hoher Temperatur zu einem Ort niederer Temperatur transportiert wird. Beim Steam Cracker kann das Wärmestromprofil der Transport der Wärme von der beheizten Außenseite der Reaktorrohre zur Innenseite der Reaktorrohre sein. Das Wärmestromprofil kann anhand von Oberflächentemperaturmessungen bestimmt werden. Alternativ oder zusätzlich kann das Wärmestromprofil auf Basis der Auslasstemperatur und des mindestens einen Ausgangsprodukts bestimmt werden. Alternativ oder zusätzlich kann über die Brenneranordnung ein Profil abgeschätzt werden. Alternativ oder zusätzlich kann das Wärmestromprofil auf Basis von CFD-Simulationen der Brenner im Steam Cracker bestimmt werden.

Die Zeit kann die Betriebsdauer des Steam Crackers sein. Die Zeit kann mittels einer Zeitmessvorrichtung gemessen werden. Eine Zeitmessvorrichtung kann beispielsweise eine Stoppuhr sein. Durch die Zeit kann die Menge der Verkokung besonders gut abgeschätzt werden, da die Menge an dem mindestens einen Eingangsprodukt und dem mindestens einen Ausgansprodukt bestimmt werden kann.

In einem Ausführungsbeispiel kann das Verfahren periodisch durchgeführt werden.

Auf diese Weise kann mit dem Verfahren die Verkokung des Steam Crackers kontinuierlich überwacht werden. Hierdurch kann die Verkokung besonders präzise ermittelt werden. Zudem kann auf diese Weise die Effizienz des Verfahrens verbessert werden. Weiter kann das Verfahren einfach durchführbar sein, da die Verkokung des Steam Crackers kontinuierlich überwacht werden kann. Dies alles kann wieder die Steuerung des Steam Crackers erleichtern.

Periodisch kann bedeuten, dass das Verfahren in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführt wird. Die Zeitabstände können dabei derartig gewählt werden, dass eine messbare Veränderung des in Schritt a. erfassten Druckverlusts durch die Verkokung feststellbar sein kann.

In einem Ausführungsbeispiel kann das Verfahren tageweise, bevorzugt stündlich, durchgeführt werden.

Auf diese Weise kann mit dem Verfahren die Verkokung des Steam Crackers kontinuierlich und engmaschig überwacht werden. Hierdurch kann die Verkokung besonders präzise ermittelt werden. Zudem kann auf diese Weise die Effizienz des Verfahrens verbessert werden. Weiter kann das Verfahren einfach durchführbar sein, da die Verkokung des Steam Cracker tageweise überwacht werden kann. Dies alles kann wieder die Steuerung des Steam Crackers erleichtern. Sollte das Verfahren stündlich durchgeführt werden, verstärken sich die vorgenannten Vorteilen weiter.

In einem Ausführungsbeispiel kann das Verfahren für einen gesamten Lauf des Steam Crackers angewendet werden.

Auf diese Weise kann mit dem Verfahren die Verkokung des Steam Crackers über den gesamten Lauf simuliert werden. Hierdurch wird die Verkokung besonders präzise ermittelt, da insbesondere die anfängliche Verkokung leicht zu bestimmen sein kann, weil zu Beginn eines Laufs keine Verkokung vorliegen kann. Dadurch kann das Verfahren besonders effizient und einfach durchführbar sein. Dies erleichtert dann die Steuerung des Steam Crackers.

Der gesamte Lauf eines Steam Crackers kann der Betrieb des Steam Crackers zwischen zwei Entkokungen sein. Der Lauf kann vom Beginn der Nutzung des Steam Crackers nach einer Entkokung bis zum Ende der Nutzung des Steam Cracks für eine weitere Entkokung sein. Die Entkokung kann das Freibrennen des Steam Crackers von Koks sein. Am Anfang des Laufs kann keine Verkokung in dem Steam Cracker vorliegen. Am Ende des Laufs kann die maximale Verkokung des Steam Crackers vorliegen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann für das Verfahren, insbesondere die Schritte b. und c., ein Verfahren zum Abbilden des Steam Crackens von Kohlenwasserstoff in Steam Crackern verwendet werden.

Ein Verfahren zum Abbilden des Steam Crackens von Kohlenwasserstoff in Steam Crackern kann beispielsweise das Programm COILSIM1D sein.

Das Programm COILSIM1D wurde entwickelt, um das Steam Cracking von Kohlenwasserstoffen in Reaktorrohren zu simulieren. Um die Reaktionen, die bei dem Prozess ablaufen können, abbilden zu können, kann ein Reaktionsnetzwerk verwendet werden. Das Reaktionsnetzwerk kann aus den zwei Schema eines monomolekularen μ-Netzwerk und eines β-Netzwerk bestehen. Dies kann insbesondere auf den Kapiteln 2.1-2.3 der Doktorarbeit „Single Event Microkinetic Model for Steam Cracking of Hydrocarbons" von Kevin van Geem (ISBN 90-8578-077-2) beruhen.

Um die Reaktoren für das Steam Cracken zu modellieren, kann zusätzlich ein Steam Cracker Modell erforderlich sein. Die Modellgleichungen kann auf einem eindimensionalen Modell basieren, in dem angenommen werden kann, dass keine Gradienten der zu berechnenden Größen in radialer Richtung vorliegen können. Die Ausnahme kann der Temperaturverlauf im Bereich des sehr dünnen Films nahe der Wand bilden. Dieser Gradient kann nicht vernachlässigt werden, da dieser wesentlich für Wärmeübertragung sein kann. Die Strömung kann als Pfropfenströmung angenommen werden. Die Modellgleichungen kann die Transportgleichungen für Masse, Impuls und Energie, auch als Navier-Stokes-Gleichung bekannt, enthalten. Diese Gleichungen können entlang des Coils des Steam Crackers integriert werden und können schließlich die Produktausbeuten sowie die Druckprofile und Temperaturprofile über die Reaktorrohre ergeben. Dies kann insbesondere auf dem Kapitel 4 der Doktorarbeit „Single Event Microkinetic Model for Steam Cracking of Hydrocarbons" von Kevin van Geem (ISBN 90-8578-077-2) beruhen.

Zur Simulation der Lauflänge von industriellen Steam Cracken können in das grundlegenden Simulationsmodell die zwei folgenden Verkokungsmodelle integriert werden. Das Verkokungsmodell von Plehiers et al. (Plehiers P.M. Rigoureuze Modellen voor de Simulatie van Fornuizen voor de Thermische Kraking van Lichte Koolwaterstoffen, PhD dissertation, UGent, 1989.) wurde für die Vorhersage der Verkokungsraten beim Steam Cracken von leichten Kohlenwasserstoff-Einsatzstoffen entwickelt. Das Modell von Reyniers et al. (Reyniers G.C., Froment G.F., Kopinke F.D., Zimmerman G. Coke Formation in the Thermal Cracking of Hydrocarbons. 4. Modeling of Coke Formation in Naphtha Cracking, Ind. Eng. Chem. Res., 33, 2584, 1994.) ermöglicht die Simulation der Verkokungsrate von schwereren Einsatzstoffen, die von leichten Naphtha-Fraktionen bis hin zu Kondensaten reichen.

Beide Verkokungsmodelle können jedoch nur die heterogene nicht-katalytische oder so genannte pyrolytischen Verkokung berücksichtigen. Die Verkokungskinetik kann mit den eindimensionalen Reaktormodellgleichungen gekoppelt sein, die in dem Programm gelöst werden kann. Dies kann insbesondere auf dem Kapitel 5, insbesondere Kapitel 5.2.4, der Doktorarbeit „Single Event Microkinetic Model for Steam Cracking of Hydrocarbons" von Kevin van Geem (ISBN 90-8578-077-2) beruhen.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe durch ein computerimplementiertes Verfahren zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers gelöst, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

a. Bestimmen der katalytischen Verkokung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers,

b. Vergleichen der katalytischen Verkokung mit einer katalytischen Referenzverkokung,
c. Ausgabe des Ergebnisses des Vergleichs in Schritt b. als Alterung des Steam Crackers.

Auf diese Weise kann die Alterung und damit der Zustand des Steam Crackers besonders präzise bestimmt werden, wodurch die Steuerung des Steam Crackers erleichtert wird. Somit kann neben der Alterung und dem Zustand des Steam Crackers auch das Risiko für einen Bruch eines Reaktorrohres des Steam Crackers bestimmt werden, sodass die Sicherheit des Steam Crackers mit dem Verfahren erhöht wird. Ferner ist das Verfahren besonders effizient und einfach durchführbar.

Die Alterung eines Steam Crackers kann der Zustand der Reaktorrohre des Steam Crackers sein. Insbesondere kann die Alterung dem Verbrauch der Reaktorrohre des Steam Crackers entsprechen. Der Verbrauch der Reaktorrohre kann die anfängliche Wandstärke bis zu einer kritischen Wandstärke sein. Die kritische Wandstärke kann die Wandstärke sein, bei der ein Versagen der Reaktorrohre des Steam Crackers, wie beispielsweise ein Brechen, Platzen und/oder Reißen der Reaktorrohre des Steam Crackers, noch verhindert werden kann. Die Restwandstärke kann anhand der Aufkohlung und/oder der Aufstickung bestimmt werden. Die Alterung kann insbesondere für die einzelnen Reaktorrohre des Steam Crackers ausgeben werden.

Die Alterung kann der Korrosionsfortschritt sein. Beispielsweise kann der Korrosionsfortschritt eine Änderung der Innenoberfläche der Rohre, insbesondere eine Änderung der chemischen Zusammensetzung der Innenoberfläche der Rohre sein. Beispielsweise kann der Korrosionsfortschritt eine Zunahme an einem katalytisch aktivem Material, wie beispielsweise Nickel und/oder Eisen, auf der Innenoberfläche der Rohre sein. Alternativ oder zusätzlich kann der Korrosionsfortschritt eine Änderung der chemischen Zusammensetzung des Materials von der Innenoberfläche zur Außenoberfläche der Rohre sein. Beispielsweise kann die Änderung der chemischen Zusammensetzung des Materials von der Innenoberfläche zur Außenoberfläche der Rohre die Aufkohlung und/oder die Aufstickung sein.

Zum Beispiel kann zu Beginn der Lebenszeit eine bestimmte Menge des katalytisch inaktiven Materials an der Innenoberfläche vorhanden sein. Das katalytisch inaktive Material kann eine Oxidschicht, wie beispielsweise Chromoxid, Siliziumoxid und/oder Aluminiumoxid, an der Innenoberfläche sein. Das katalytisch inaktive Material kann insbesondere eine Schicht an der Innenoberfläche bilden. Zudem kann das katalytisch inaktive Material eine Aufkohlung und/oder Aufstickung des Rohres verhindern. Mit zunehmender Alterung kann die Menge des katalytisch inaktiven Materials an der Innenoberfläche abnehmen. Mit zunehmender Alterung kann vermehrt katalytisch

aktives Material, wie beispielsweise Nickel und/oder Eisen, auf der Innenoberfläche der Rohre sein. Auf diese Weise kann die katalytische Verkokung zunehmen und/oder die Aufkohlung und/oder die Aufstickung zunehmen. Das katalytisch inaktive Material kann die katalytischen Verkokung vermindern. Das katalytisch aktive Material kann die katalytische Verkokung unterstützen.

Die katalytische Referenzverkokung kann ein Wert für die Verkokung am Ende der Lebenszeit sein. Mit zunehmender Alterung des Steam Crackers können die Legierungselemente in den Reaktorrohren abnehmen, die eine schützende Oxidschicht bilden können. Daher kann mit zunehmender Alterung die katalytische Verkokung zunehmen, sodass die maximale katalytische Verkokung am Ende der Lebenszeit des Steam Cracks die katalytischen Referenzverkokung sein kann. Die katalytische Referenzverkokung kann empirisch bestimmt werden oder aus Erfahrungswerten ermittelt werden.

Der Vergleich in Schritt b. der katalytischen Verkokung mit der katalytischen Referenzverkokung kann ein Vergleich von den Absolutwerten und/oder ein Verhältnis der katalytischen Verkokung und der katalytischen Referenzverkokung sein. Der Vergleich kann insbesondere als Anteil der in Schritt a. bestimmten katalytischen Verkokung von der katalytischen Referenzverkokung, insbesondere in Prozent, ausgeben werden.

Die Ausgabe des Ergebnisses des Vergleichs in Schritt b. als Alterung des Steam Crackers kann visuell und/oder akustisch erfolgen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die katalytische Referenzverkokung am Ende der Lebenszeit eines Steam Crackers bestimmt werden.

Auf diese Weise kann die Alterung und damit der Zustand des Steam Crackers besonders präzise bestimmt werden, da die katalytische Referenzverkokung aus empirischen Daten gewonnen sein kann. Dadurch kann die Steuerung des Steam Crackers erleichtert werden. Somit kann neben der Alterung und dem Zustand des Steam Crackers auch das Risiko für einen Bruch eines Reaktorrohres des Steam Crackers besonders gut bestimmt werden, sodass die Sicherheit des Steam Crackers mit dem Verfahren erhöht werden kann. Ferner kann das Verfahren besonders effizient und einfach durchführbar sein. Der Steam Cracker zur Bestimmung der katalytischen Referenzverkokung am Ende der Lebenszeit kann ein beliebiger Steam Cracker sein.

Die katalytische Referenzverkokung am Ende der Lebenszeit eines Steam Crackers kann die maximale katalytische Verkokung am Ende der Lebenszeit des Steam Cracks sein.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die katalytische Referenzverkokung aus historischen Daten desselben Steam Crackers bestimmt werden.

Auf diese Weise kann die Alterung und damit der Zustand des Steam Crackers besonders präzise bestimmt werden, da die katalytische Referenzverkokung aus empirischen Daten desselben Steam Crackers gewonnen sein kann. Dadurch kann die Steuerung des Steam Crackers erleichtert werden. Somit kann neben der Alterung und dem Zustand des Steam Crackers auch das Risiko für einen Bruch eines Reaktorrohres des Steam Crackers besonders gut bestimmt werden, sodass die Sicherheit des Steam Crackers mit dem Verfahren erhöht werden kann. Ferner kann das Verfahren besonders effizient und einfach durchführbar sein.

Derselbe Steam Cracker kann der Steam Cracker sein, dessen Alterung bestimmt werden soll und an dem auch die katalytische Referenzverkokung bestimmt worden sein kann. Es kann sich somit um denselben Steam Cracker handeln, wobei einzelne Reaktorrohre ausgetauscht worden sein können.

Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe durch eine Vorrichtung eingerichtet zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers und/oder zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers, oder
umfassend jeweilige Mittel zur Ausführung der Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers und/oder umfassend jeweilige Mittel zur Ausführung der Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers gelöst.

Gemäß einem vierten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe durch ein Computerprogramm gelöst, umfassend Programmanweisungen, die dazu ausgebildet sind, bei Ausführung durch mindestens einen Prozessor eine Vorrichtung zu veranlassen, das erfindungsgemäßen Verfahren zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers und/oder das erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers auszuführen.

Weitere Aufgaben, Merkmale, Vorteile und Aspekte der vorliegenden Erfindung werden für den Fachmann aus der folgenden Beschreibung und den beigefügten Ansprüchen ersichtlich. Es sollte jedoch verstanden werden, dass die folgende Beschreibung, die beigefügten Ansprüche und die spezifischen Beispiele, die bevorzugte Ausführungsformen der Anwendung zeigen, nur zur Veranschaulichung gegeben werden. Verschiedene Änderungen und Modifikationen im Rahmen des Geistes und

des Umfangs der offengelegten Erfindung werden dem Fachmann beim Lesen der folgenden Ausführungen ohne weiteres einleuchten.

DEFINITIONEN

Die folgenden Ausdrücke haben im Allgemeinen vorzugsweise die nachstehend aufgeführten Bedeutungen, sofern sich aus dem Kontext, in dem sie verwendet werden, nichts anderes ergibt.

Der hier verwendete Ausdruck "umfassen" schließt neben seiner wörtlichen Bedeutung auch die Ausdrücke "im Wesentlichen bestehen aus" und "bestehen aus" ein und bezieht sich speziell auf diese. Somit bezieht sich der Ausdruck "umfassen" sowohl auf Ausführungsformen, bei denen der Gegenstand, der speziell aufgeführte Elemente "umfasst", keine weiteren Elemente umfasst, als auch auf Ausführungsformen, bei denen der Gegenstand, der speziell aufgeführte Elemente "umfasst", weitere Elemente umfassen kann und/oder tatsächlich umfasst. Ebenso ist der Ausdruck "haben" als der Ausdruck "umfassen" zu verstehen, der auch die Ausdrücke "im Wesentlichen bestehen aus" und "bestehen aus" einschließt und sich auf diese bezieht. Der Ausdruck "bestehen im Wesentlichen aus" bezieht sich, soweit möglich, insbesondere auf Ausführungsformen, bei denen der Gegenstand neben den spezifisch aufgeführten Elementen, aus denen der Gegenstand im Wesentlichen besteht, 20 % oder weniger, insbesondere 15 % oder weniger, 10 % oder weniger oder insbesondere 5 % oder weniger weitere Elemente umfasst.

FIGUREN

Fig. 1 ein Flussdiagramm einer Ausführungsform eines computerimplementierten Verfahrens zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers gemäß der Erfindung;

Fig. 2 ein Flussdiagramm einer Ausführungsform des Schritts d. des computerimplementierten Verfahrens gemäß der Erfindung;

Fig. 3 eine schematische Ansicht eines Steam Crackers;

Fig. 4 ein Flussdiagramm einer Ausführungsform eines computerimplementierten Verfahrens zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers gemäß der Erfindung;

Fig. 5 einen Querschnitt durch ein gealtertes Reaktorrohr,

Fig. 6 einen Querschnitt durch ein Reaktorrohr am Ende der Lebenszeit,

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Vorrichtung gemäß der Erfindung.

SPEZIELLE BESCHREIBUNG

Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm einer Ausführungsform eines computerimplementierten Verfahrens gemäß der Erfindung.

Das computerimplementierte Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

a. Erfassen eines Druckverlusts des Steam Crackers,
b. Definieren einer Verkokung des Steam Crackers,
c. Simulieren eines Druckverlusts des Steam Crackers basierend auf der in Schritt b. definierten Verkokung,
d. Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des in Schritt c. simulierten Druckverlusts an den in Schritt a. erfassten Druckverlust,
e. Ausgabe der in Schritt d. korrigierten Verkokung,
f. Ermittlung einer katalytischen Verkokung durch Abzug der pyrolytischen Verkokung von der in Schritt d. korrigierten Verkokung und Ausgabe der katalytischen Verkokung.

Bei dem Verfahren wird zunächst in Schritt 100 ein Druckverlust des Steam Crackers erfasst. In Schritt 101 wird eine Verkokung des Steam Crackers definiert. Anschließend wird in Schritt 103 ein Druckverlust des Steam Crackers basierend auf der in Schritt 101 definierten Verkokung simuliert. In Schritt 104 wird die in Schritt 101 definierte Verkokung zum Angleichen des in Schritt 102 simulierten Druckverlusts an den in Schritt 100 erfassten Druckverlust korrigiert. Die in Schritt 103 korrigierten Verkokung wird anschließend ausgegeben. Im Anschluss wird eine katalytischen Verkokung durch Abzug der pyrolytischen Verkokung von der in Schritt 103 korrigierten Verkokung ermittelt und die katalytischen Verkokung wird ausgegeben.

Es ist jedoch auch möglich, dass Verfahren mit der Ausgabe der in Schritt 103 korrigierten Verkokung gemäß Schritt 104 enden zu lassen. Weiter kann bei der Durchführung des Schritts 105 die Ausgabe der in Schritt 103 korrigierten Verkokung des Steam Crackers gemäß Schritt 104 durch die Ausgabe der katalytischen Verkokung nach Schritt 105 ersetzt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die pyrolytischen Verkokung und/oder die in Schritt 101 korrigierte Verkokung ausgegeben werden.

Die in Schritt 101 definierten Verkokung wird durch die pyrolytische Verkokung im Steam Cracker definiert.

Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm einer Ausführungsform des Schritts 103 des Verfahrens gemäß der Erfindung.

Die Korrektur gemäß Schritt 103 der in Schritt 101 definierten Verkokung erfolgt iterativ. Dazu umfasst die Korrektur der in Schritt 101 definierten Verkokung zum Angleichen des simulierten Druckverlusts an den erfassten Druckverlust gemäß Schritt 103 die folgenden Schritte:

In Schritt 200 wird der simulierte Druckverlust mit dem erfassten Druckverlust verglichen. Anschließend wird in Schritt 201 die in Schritt 101 definierte Verkokung korrigiert. Im nächsten Schritt 202 wird der Druckverlust des Steam Crackers basierend auf der in Schritt 201 korrigierten Verkokung simuliert.

In dem in Fig. 1 gezeigten Verfahren kann in Schritt 100 mindestens ein Prozessparameter des Steam Crackers erfasst werden. In Schritt 101 wird dann der simulierte Druckverlust zusätzlich basierend auf dem mindestens einen Prozessparameter des Steam Crackers simuliert.

Fig. 3 zeigt eine schematische Ansicht eines Steam Crackers 300. Anhand des Steam Crackers 300 wird erläutert, wie die verschiedenen Prozessparameter am Steam Cracker 300 ermittelt werden können. Der Prozessparameter kann beispielsweise die Geometrie des Steam Crackers 300, der Eingangsdruck, der Ausgangsdruck, der Massenstrom, mindestens ein Eingangsprodukt, mindestens ein Ausgangsprodukt, die Einlasstemperatur des mindestens einen Eingangsprodukts, die Auslasstemperatur des mindestens einen Ausgansprodukts, das Wärmestromprofil und/oder die Zeit sein.

Der Eingangsdruck und der der Ausgangsdruck werden jeweils mittels eines Drucksensors ermittelt. Über einen Massenstromsensor wird der Massenstrom erfasst. Die Einlasstemperatur des mindestens einen Eingangsprodukts und die Auslasstemperatur des mindestens einen Ausgansprodukts wird mittels eines Temperatursensors bestimmt.

Fig. 3 zeigt eine schematische Ansicht eines Steam Crackers 300. Der Steam Cracker 300 umfasst mehrere Brenner 301. Zudem umfasst der Stream Cracker 300 den ersten Sensor 301 zur Bestimmung eines Prozessparameters und den zweiten Sensor 302 zur Bestimmung eines Prozessparameters.

An dem Eingang des Steam Crackers ist der erste Sensor 302 angeordnet. Der erste Sensor 302 kann zur Bestimmung des Einlassdrucks, des Massenstroms, der Einlasstemperatur, des Dampfverhältnisses oder des mindestens einen Eingangsprodukts ausgebildet sein. Anstelle eines ersten Sensors 302 können auch mehrere erste Sensoren 302 am Eingang des Steam Crackers 300 angeordnet sein, um zwei, drei, vier, fünf oder mehr Prozessparameter zu bestimmen. Beispielsweise können mit mehreren ersten Sensoren 302 auch zwei, drei, vier oder fünf Prozessparameter von den Prozessparametern Einlassdruck, Massenstrom, Einlasstemperatur, Dampfverhältnis oder das mindestens einen Eingangsprodukt bestimmt werden.

An dem Ausgang des Steam Crackers ist der zweite Sensor 303 angeordnet. Der zweite Sensor 303 kann zur Bestimmung des Auslassdrucks, der Auslasstemperatur oder des mindestens einen Ausgangsprodukts ausgebildet sein. Anstelle eines zweiten Sensors 303 können auch mehrere zweite Sensoren 303 am Ausgang des Steam Crackers 300 angeordnet sein, um zwei, drei oder mehr Prozessparameter zu bestimmen. Beispielsweise können mit mehreren zweiten Sensoren 303 auch zwei oder drei Prozessparameter von den Prozessparametern Auslassdruck, Auslasstemperatur oder das mindestens einen Ausgangsprodukt bestimmt werden.

Das Verfahren wird periodisch durchgeführt. Dabei wird das Verfahren tageweise, durchgeführt. Alternativ kann das Verfahren auch stündlich, durchgeführt werden. Hierbei wird das Verfahren für einen gesamten Lauf des Steam Crackers angewendet.

Fig. 4 zeigt ein Flussdiagramm einer Ausführungsform eines computerimplementierten Verfahrens zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers gemäß der Erfindung;

Das computerimplementiertes Verfahren zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers, umfasst die folgenden Schritte:

a. Bestimmen der katalytischen Verkokung,
b. Vergleichen der katalytischen Verkokung mit einer katalytischen Referenzverkokung,
c. Ausgabe des Ergebnisses des Vergleichs in Schritt b. als Alterung des Steam Crackers.

Wie im Flussdiagramm in Fig. 4 gezeigt wird in Schritt 400 zunächst, wie zuvor in Bezug auf Fig. 1 erläutert, die katalytische Verkokung bestimmt. Anschließend wird in Schritt 401 die katalytische Verkokung mit der katalytischen Referenzverkokung verglichen. Im Anschluss wird in Schritt 402 das Ergebnis des Vergleichs in Schritt 401 als Alterung des Steam Crackers ausgegeben.

Die katalytische Referenzverkokung wird am Ende der Lebenszeit eines Steam Crackers bestimmt. Zudem wird die katalytische Referenzverkokung aus historischen Daten desselben Steam Crackers bestimmt.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch ein gealtertes Reaktorrohr. Das Reaktorrohr zeigt an der Innenseite eine Aufkohlung und and der Außenseite eine Aufstickung. Mit zunehmender Alterung nimmt die Aufkohlung und die Aufstickung zu. Der Bereich zwischen der Aufkohlung und der Aufstickung ist die Restwandstärke.

Fig. 6 zeigt einen Querschnitt durch ein Reaktorrohr am Ende der Lebenszeit. Im Vergleich zu Fig. 5 ist zu erkennen, dass die Aufkohlung und die Aufstickung weiter vorangeschritten sind. Die verbleibende Restwandstärke ist so dünn, dass das Reaktorrohr ausgetauscht werden sollte.

Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Vorrichtung 7 gemäß der Erfindung.

Die Vorrichtung 7 umfasst einen Prozessor 700 und verbunden mit dem Prozessor 700 einen ersten Speicher als Programmspeicher 701, einen zweiten Speicher als Hauptspeicher 702 und eine Netzwerkschnittstelle 703.

Unter einem Prozessor 700 soll beispielsweise ein Mikroprozessor (Engl. Central Processing Unit, CPU), ein digitaler Signalprozessor (DSP), eine Anwendungsspezifische Integrierte Schaltung (ASIC), eine Mikrokontrolleinheit, ein Mikrocontroller, ein Field Programmable Gate Array (FPGA), oder ein graphischer Prozessor (Engl: Graphics Processing Unit, GPU) verstanden werden. Es versteht sich, dass die Vorrichtung 7 auch mehrere Prozessoren 700 umfassen kann.

Der Prozessor 700 führt Programmanweisungen aus, die in Programmspeicher 701 gespeichert sind, und speichert beispielsweise Zwischenergebnisse oder Ähnliches in Hauptspeicher 702. Die Verwendung eines (zusätzlichen) graphischen Prozessors kann beispielsweise zur Ausführung von Algorithmen zum maschinellen Lernen und/oder künstlichen neuronalen Netzwerken vorteilhaft sein.

In Programmspeicher 701 sind beispielsweise Programmanweisungen gespeichert, die den Prozessor 700, wenn er die Programmanweisungen ausführt, veranlassen, das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung zumindest teilweise auszuführen und/oder zu steuern. Das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung wird beispielsweise in Fig. 1 gezeigt. Alternativ oder zusätzlich sind in Programmspeicher 701 beispielsweise Programmanweisungen gespeichert, die den Prozessor 700, wenn er die Programmanweisungen ausführt, veranlassen, das Verfahren gemäß dem

zweiten Aspekt der Erfindung zumindest teilweise auszuführen und/oder zu steuern. Das Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung wird beispielsweise in Fig. 3 gezeigt.

Programmspeicher 701 enthält ferner beispielsweise das Betriebssystem der Vorrichtung 7, das beim Starten der Vorrichtung 7 zumindest teilweise in Hauptspeicher 702 geladen und vom Prozessor 700 ausgeführt wird.

Ein Beispiel für ein Betriebssystem ist ein Windows -, UNIX-, Linux-, Android-, Apple iOS- und/oder MAC OS-Betriebssystem. Das Betriebssystem ermöglicht insbesondere die Verwendung der Vorrichtung 7 zur Datenverarbeitung. Es verwaltet beispielsweise Betriebsmittel wie einen Hauptspeicher und einen Programmspeicher, stellt unter anderem durch Programmierschnittstellen anderen Computerprogrammen grundlegende Funktionen zur Verfügung und steuert die Ausführung von Computerprogrammen.

Ein Programmspeicher 701 ist beispielsweise ein nicht-flüchtiger Speicher wie ein Flash-Speicher, ein EEPROM-Speicher (elektrisch löschbarer programmierbarer Nur-Lese-Speicher), ein Magnetspeicher und/oder ein optischer Speicher. Ein Hauptspeicher 702 ist zum Beispiel ein flüchtiger oder nicht-flüchtiger Speicher, insbesondere ein Speicher mit wahlfreiem-Zugriff (RAM) wie ein statischer RAM-Speicher (SRAM), ein ferroelektrischer RAM-Speicher (FeRAM), ein dynamischer RAM-Speicher (DRAM) und/oder ein magnetischer RAM-Speicher (MRAM).

Hauptspeicher 702 und Programmspeicher 701 können auch als ein Speicher ausgebildet sein. Alternativ können Hauptspeicher 702 und/oder Programmspeicher 701 jeweils durch mehrere Speicher gebildet werden. Ferner können Hauptspeicher 702 und/oder Programmspeicher 701 auch Teil des Prozessors 700 sein.

Prozessor 700 steuert die Netzwerkschnittstelle 703, welche beispielsweise eingerichtet ist über eine Verbindung in einem Kommunikationsnetzwerk Informationen mit einer entfernten Vorrichtung auszutauschen (z.B. zu senden und/oder zu empfangen). Im Folgenden wird beispielhaft davon ausgegangen, dass die Netzwerkschnittstelle 703 eine drahtgebundene Netzwerkschnittstelle ist. Ein Beispiel für eine drahtgebundene Netzwerkschnittstelle ist eine Ethernet-Schnittstelle. Zum Beispiel kann die Vorrichtung 7 die Netzwerkschnittstelle 703 verwenden, um Informationen wie beispielsweise die Verkokung der Steam Crackers oder die Alterung des Steam Crackers auszugeben. Hierzu kann die Netzwerkschnittstelle 703 beispielsweise mit einem Bildschirm und/oder einem Lautsprecher verbunden sein.

Die Komponenten 700 bis 703 der Vorrichtung 7 sind beispielsweise über einen oder mehrere Bussysteme (z.B. ein oder mehrere serielle und/oder parallele Busverbindungen) kommunikativ und/oder operativ miteinander verbunden.

Es versteht sich, dass die Vorrichtung 7 neben den Komponenten 700 bis 703 weitere Komponenten (z.B. eine Benutzerschnittstelle) umfassen kann. Die Vorrichtung kann mit einer Ausgabevorrichtung wie beispielsweise einem Bildschirm und/oder einem Lautsprecher verbunden sein.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Computerimplementiertes Verfahren zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers,
   gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
   a. Erfassen eines Druckverlusts des Steam Crackers (100) und/oder eines Temperaturverlaufs des Steam Crackers,
   b. Definieren einer Verkokung des Steam Crackers (101),
   c. Simulieren eines Druckverlusts des Steam Crackers und/oder Simulieren eines Temperaturverlaufs des Steam Crackers basierend auf der in Schritt b. definierten Verkokung (102),
   d. Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des in Schritt c. simulierten Druckverlusts an den in Schritt a. erfassten Druckverlust (103) und/oder Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des in Schritt c. simulierten Temperaturverlaufs an den in Schritt a. erfassten Temperaturverlauf,
   e. Ausgabe der in Schritt d. korrigierten Verkokung (104).

2. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1,
   dadurch gekennzeichnet, dass
   die Korrektur gemäß Schritt d. der in Schritt b. definierten Verkokung iterativ erfolgt,
   wobei die Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des simulierten Druckverlusts an den erfassten Druckverlust gemäß Schritt d. und/oder die Korrektur der in Schritt b. definierten Verkokung zum Angleichen des simulierten Temperaturverlaufs an den erfassten Temperaturverlauf gemäß Schritt d. die folgenden Schritte umfasst:
   d.1. Vergleichen des simulierten Druckverlusts mit dem erfassten Druckverlust (200) und/oder Vergleichen des simulierten Temperaturverlaufs mit dem erfassten Temperaturverlauf,
   d.2. Korrigieren der in Schritt b. definierten Verkokung (201),
   d.3. Simulieren des Druckverlusts des Steam Crackers basierend auf der in Schritt d.2 korrigierten Verkokung (202) und/oder Simulieren des Temperaturverlaufs des Steam Crackers basierend auf der in Schritt d.2 korrigierten Verkokung.

3. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
   dadurch gekennzeichnet, dass

die in Schritt b. definierten Verkokung durch die pyrolytische Verkokung im Steam Cracker definiert wird.

4. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 umfassend den zusätzlichen Verfahrensschritt:
    f. Ermittlung einer katalytischen Verkokung durch Abzug der pyrolytischen Verkokung von der in Schritt d. korrigierten Verkokung und Ausgabe der katalytischen Verkokung (105).

5. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
in Schritt a. (100) mindestens ein Prozessparameter des Steam Crackers erfasst wird, und
wobei in Schritt b. (101) der simulierte Druckverlust und/oder in Schritt b. der simulierte Temperaturverlauf zusätzlich basierend auf dem mindestens einen Prozessparameter des Steam Crackers simuliert wird.

6. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
der mindestens eine Prozessparameter eine der folgenden Größen und/oder Eigenschaften repräsentiert:
    - eine Geometrie des Steam Crackers,
    - einen Eingangsdruck,
      wobei insbesondere der Eingangsdruck mittels eines Drucksensors ermittelt wird,
    - einen Ausgangsdruck,
      wobei insbesondere der Ausgangsdruck mittels eines Drucksensors ermittelt wird,
    - einen Massenstrom,
      wobei insbesondere der Massenstrom mittels eines Massenstromsensors erfasst wird,
    - mindestens ein Eingangsprodukt,
      wobei insbesondere das mindestens eine Eingangsprodukt mittels einer PIONA-Analyse und/oder einer Gaschromatographie insbesondere multidimensionaler Gaschromatographie, ermittelt wird,
    - mindestens ein Ausgangsprodukt,
      wobei insbesondere das mindestens eine Ausgangsprodukt mittels Residual Gas Analysis und/oder einer Gaschromatographie, insbesondere multidimensionaler Gaschromatographie, ermittelt wird,
    - ein Dampfverhältnis,
    - eine Einlasstemperatur des mindestens einen Eingangsprodukts,

wobei insbesondere die Einlasstemperatur mittels eines Temperatursensors bestimmt wird,
- eine Auslasstemperatur des mindestens einen Ausgansprodukts,
  wobei insbesondere die Auslasstemperatur mittels eines Temperatursensors bestimmt wird,
- ein Wärmestromprofil,
- eine Zeit,
  wobei insbesondere die Zeit mittels einer Zeitmessvorrichtung gemessen wird.

7. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
   dadurch gekennzeichnet, dass
   das Verfahren periodisch durchgeführt wird.

8. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 7;
   dadurch gekennzeichnet, dass
   das Verfahren tageweise, bevorzugt stündlich, durchgeführt wird.

9. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
   dadurch gekennzeichnet, dass
   das Verfahren für einen gesamten Lauf des Steam Crackers angewendet wird.

10. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
    dadurch gekennzeichnet, dass
    für das Verfahren ein Verfahren zum Abbilden des Steam Crackens von Kohlenwasserstoff in Steam Crackern verwendet wird.

11. Computerimplementiertes Verfahren zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers,
    gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
    a. Bestimmen der katalytischen Verkokung nach Anspruch 4 (400),
    b. Vergleichen der katalytischen Verkokung mit einer katalytischen Referenzverkokung (401),
    c. Ausgabe des Ergebnisses des Vergleichs in Schritt b. als Alterung des Steam Crackers (402).

12. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 11
    dadurch gekennzeichnet, dass
    die katalytische Referenzverkokung am Ende der Lebenszeit eines Steam Crackers bestimmt wird.

13. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 11 oder 12
dadurch gekennzeichnet, dass
die katalytische Referenzverkokung aus historischen Daten desselben Steam Crackers bestimmt wird.

14. Vorrichtung eingerichtet zur Ausführung des Verfahrens zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers nach einem der Ansprüche 1 bis 10 und/oder zur Ausführung des Verfahrens zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers nach einem der Ansprüche 11 bis 13, oder
umfassend jeweilige Mittel zur Ausführung der Schritte des Verfahrens zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers nach einem der Ansprüche 1 bis 10 und/oder umfassend jeweilige Mittel zur Ausführung der Schritte des Verfahrens zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers nach einem der Ansprüche 11 bis 13.

15. Computerprogramm, umfassend Programmanweisungen, die dazu ausgebildet sind, bei Ausführung durch mindestens einen Prozessor eine Vorrichtung zu veranlassen, das Verfahren zum Ausgeben der Verkokung eines Steam Crackers nach einem der Ansprüche 1 bis 10 und/oder das Verfahren zur Bestimmung der Alterung eines Steam Crackers nach einem der Ansprüche 11 bis 13 auszuführen.