

(19)



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

(11)

N° de publication :

LU103206

(12)

BREVET D'INVENTION**B1**

(21)

N° de dépôt: LU103206

(51)

Int. Cl.:
C01B 3/02, C01B 3/38, C01C 1/04

(22)

Date de dépôt: 27/10/2023

(30)

Priorité:

(72)

Inventeur(s):
POSCHLAD Katja – Deutschland, GANDHI Shivam –
Deutschland, DOSTAL Daniela – Deutschland

(43)

Date de mise à disposition du public: 28/04/2025

(47)

Date de délivrance: 28/04/2025

(74)

Mandataire(s):
THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH –
45143 Essen (Deutschland)

(73)

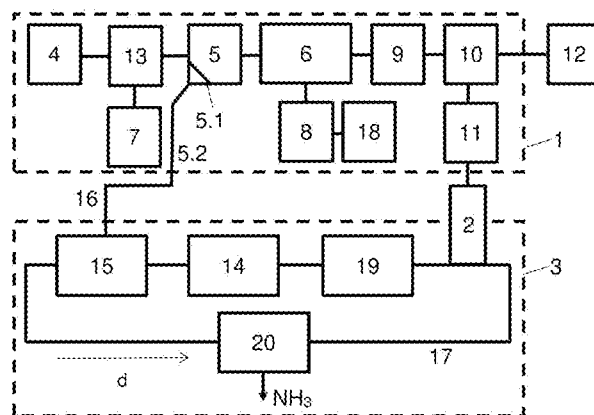
Titulaire(s):
THYSSENKRUPP UHDE GMBH –
45143 Essen (Deutschland), THYSSENKRUPP AG –
45143 Essen (Deutschland)

(54)

Verfahren und Anlage zur Herstellung von Ammoniak mit autothermen Reformern.

(57)

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Ammoniak, umfassend die Schritte Bereitstellen von drei Eduktgasen, nämlich eines kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases, eines luftbasierenden Eduktgases und eines dampfhaltigen Eduktgases, Erwärmen von zumindest einem der drei Eduktgase mit einer befeuerten Brennvorrichtung, wobei zumindest ein erwärmtes Eduktgas erhalten wird, Einspeisen des zumindest einen erwärmten Eduktgases sowie der übrigen der drei Eduktgase in einen autothermen Reformier, autothermes Reformieren der drei Eduktgase, wobei ein reformiertes Gasgemisch erhalten wird, Einspeisen des reformierten Gasgemischs in einen Ammoniaksynthesekreislauf mit einem Synthesekreislaufgas, Umsetzen des Synthesekreislaufgases in einem Konverter, wobei Ammoniak im Synthesekreislaufgas erzeugt wird, und Aufteilen des Synthesekreislaufgases in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Teilstrom der befeuerten Brennvorrichtung als wasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt wird. Weiterhin betrifft die Erfindung eine entsprechende Ammoniaksyntheseanlage sowie ein Verfahren zum Umrüsten einer Ammoniaksyntheseanlage.

**Fig. 2**

Verfahren und Anlage zur Herstellung von Ammoniak mit autothermen Reformern

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet des chemischen Anlagenbaus und betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Ammoniak, umfassend die Schritte Bereitstellen von drei Eduktgasen, nämlich eines kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases, eines luftbasierenden Eduktgases und eines dampfhaltigen Eduktgases, Erwärmen von zumindest einem der drei Eduktgase mit einer befeuerten Brennvorrichtung, wobei zumindest ein erwärmtes Eduktgas erhalten wird, Einspeisen des zumindest einen erwärmten Eduktgases sowie der übrigen der drei Eduktgase in einen autothermen Reformern, autothermes Reformieren der drei Eduktgase, wobei ein reformiertes Gasgemisch erhalten wird, Einspeisen des reformierten Gasgemischs in einen Ammoniaksynthesekreislauf mit einem Synthesekreislaufgas, Umsetzen des Synthesekreislaufgases in einem Konverter, wobei Ammoniak im Synthesekreislaufgas erzeugt wird, und Aufteilen des Synthesekreislaufgases in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Ammoniaksyntheseanlage mit einer Synthesegaserzeugungsvorrichtung zum Erzeugen eines reformierten Eduktgases aus einem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas, mit einem Ammoniaksynthesekreislauf zum Erzeugen von Ammoniak aus einem in einer Synthesekreislaufanordnung geförderten Synthesekreislaufgas, sowie mit einer Einspeisung zum Einspeisen des reformierten Eduktgases in das Synthesekreislaufgas, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung und der Ammoniaksynthesekreislauf strömungstechnisch über die Einspeisung verbunden sind, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung einen autothermen Reformern zum Erzeugen des reformierten Eduktgases aus einem luftbasierenden Eduktgas, einem dampfhaltigen Eduktgas und dem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas sowie einen Gaserhitzer mit einer befeuerten Brennvorrichtung zum Erhitzen des Eduktgases vor dem Einspeisen in den autotherme Reformern aufweist, wobei der Ammoniaksynthesekreislauf einen Konverter zum Erzeugen eines konvertierten Synthesekreislaufgases aus dem Synthesekreislaufgas sowie eine Auftrennung zum Auftrennen des konvertierten Synthesekreislaufgases in zwei Teilströme aufweist, wobei die Auftrennung mit einer Ablassleitung zum Abführen eines der zwei Teilströme verbunden ist. Schließlich betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Umrüsten einer Ammoniaksyntheseanlage mit einer Synthesegaserzeugungsvorrichtung zum Erzeugen eines reformierten Gasgemisches unter Einsatz von drei Eduktgasen, nämlich einem

kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas, einem luftbasierenden Eduktgas und einem dampfhaltigen Eduktgas, einem Ammoniaksynthesekreislauf zum Erzeugen von Ammoniak in einem in einer Synthesekreislaufanordnung geförderten Synthesekreislaufgas, sowie mit einer Einspeisung zum Einspeisen des reformierten Gasgemisches in das Synthesekreislaufgas, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung und der Ammoniaksynthesekreislauf strömungstechnisch über die Einspeisung verbunden sind, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung einen autothermen Reformier zum Erzeugen des reformierten Gasgemisches unter Einsatz der drei Eduktgase sowie einen Gaserhitzer mit einer befeuerten Brennvorrichtung zum Erhitzen von zumindest einem der drei Eduktgase vor dem Einspeisen in den autothermen Reformier aufweist, wobei der Ammoniaksynthesekreislauf einen Konverter zum Erzeugen von Ammoniak im Synthesekreislaufgas aufweist.

Ammoniak ist eine der wichtigsten Industriechemikalien mit einer weltweiten Jahresproduktion von mehr als 150 Millionen Tonnen, wovon der größte Teil in der Düngemittelindustrie verwendet wird. Seit mehr als einem Jahrhundert wird Ammoniak großtechnisch vor allem nach dem Haber-Bosch-Verfahren hergestellt, in welchem Wasserstoff und Stickstoff in einem Festbettreaktor an einem Katalysator miteinander umgesetzt werden. Da es sich um eine Gleichgewichtsreaktion handelt, deren Gleichgewicht nicht auf die Seite der Produkte liegt, wird mit Hilfe einer Fördervorrichtung das Reaktionsgemisch mit den nicht umgesetzten Gasbestandteilen in einem Ammoniaksynthesekreislauf zirkuliert. Aus diesem Ammoniaksynthesekreislauf (Synthesekreislauf, Synthese-Loop) wird Ammoniak abgetrennt und nicht umgesetzter Wasserstoff und Stickstoff innerhalb des Ammoniaksynthesekreislaufs erneut dem Katalysator zugeführt. Die Menge, die dem Ammoniaksynthesekreislauf als Ammoniak entnommen wird, wird durch eine entsprechende Menge Wasserstoff und Stickstoff ersetzt, die dem Ammoniaksynthesekreislauf als Frischgas („Make-Up-Gas“) zugeführt wird. Klassischerweise wird der für die Reaktion benötigte Wasserstoff aus Erdgas erzeugt, weshalb hierbei eine beträchtliche Menge an Kohlendioxid erzeugt wird.

In den letzten Jahren besteht ein vermehrtes Interesse an einer möglichst nachhaltigen Herstellung von Ammoniak. Im Fokus steht hierbei insbesondere „grüner Ammoniak“, also Ammoniak, für dessen Herstellung kein zusätzliches Kohlendioxid in die Atmosphäre freigesetzt wird und bei welcher auch keine fossilen Brennstoffe zum Einsatz kommen.

Um grünen Ammoniak herstellen zu können, muss auch der benötigte Wasserstoff „grün“ sein und ohne zusätzliche Freisetzung von Kohlendioxid ohne Einsatz aus fossilen Brennstoffen erzeugt werden. Die Herstellung von grünem Wasserstoff erfolgt daher typischerweise durch Elektrolyse von Wasser, wofür der Energiebedarf aus erneuerbaren/regenerativen Energien gedeckt wird. In Anbetracht der derzeit verfügbaren Infrastruktur für die Erzeugung elektrischer Energie aus regenerativen Energien ist jedoch absehbar, dass der Energiebedarf einer derart energieintensiven Technologie sich noch nicht weltweit vollständig unter ausschließlicher Verwendung regenerativer Energiequellen decken lässt. Daher muss zumindest übergangsweise zusätzlich zu einer Herstellung grünen Ammoniaks auch auf andere klimaoptimierte Technologien zurückgegriffen werden, um die Belastungen für die Umwelt nachhaltig zu verringern. Ein Weg, um dieses Ziel zu erreichen, besteht in der Herstellung von so genanntem „blauen Ammoniak“.

Blauer Ammoniak wird ebenfalls ohne erhebliche Freisetzung von Kohlendioxid in die Atmosphäre erzeugt, allerdings wird hierbei – im Unterschied zu der Herstellung von grünem Ammoniak – durchaus auf fossile Brennstoffe zurückgegriffen, um Wasserstoff auf dem Weg der Reformierung von Kohlenwasserstoffen zu erzeugen. Das dabei entstehende Kohlendioxid wird jedoch nicht in die Atmosphäre freigesetzt, sondern aufgefangen und in Kohlenstoffdioxidspeichern gelagert. Auf diese Weise wird blauer Wasserstoff erhalten, welcher zu blauem Ammoniak umgesetzt werden kann. Daher wird bei der Herstellung von blauem Ammoniak weitgehend keine erhebliche Menge an Kohlendioxid freigesetzt, sodass auch auf diesem Weg eine relativ klimaneutrale Herstellung möglich ist (auch bei der Herstellung von blauem Ammoniak wird weiterhin Kohlendioxid emittiert, jedoch ist der Anteil an Kohlendioxid, das hierbei in die Atmosphäre gelangt, erheblich geringer als bei der herkömmlichen Herstellung von Ammoniak, teilweise werden dabei 70-95 % des ansonsten freigesetzten Kohlendioxids vermieden).

Die Herstellung von Wasserstoff aus Erdgas erfolgt klassischerweise in Reformern, typischerweise bei einer Dampfreformierung in mehrstufigen Dampfreformern oder bei einer partiellen Oxidation. Eine Kombination beider Verfahren bietet das autotherme Reformieren, wodurch gleich sich der Wirkungsgrad beider Verfahren steigern lässt. Dabei wird ein Teil des Erdgases substöchiometrisch oxidiert und die dabei entstehende Reaktionswärme zur katalytischen Dampfreformierung genutzt wird, wofür eine

kontrollierte Zufuhr der Eduktströme (Erdgas, Luft – oder ein anderes Oxidationsmittel - und Wasserdampf) erforderlich ist. Beim autothermen Reformieren müssen die Eduktströme vorgewärmt werden, wofür neben einer Nutzung von Prozessabwärme – etwa aus dem reformierten Gas – auch auf befeuerte Brenner zurückgegriffen wird, welche mit einem Brenngas betrieben werden. Als Brenngas für die befeuerte Brennvorrichtung wird typischerweise Erdgas eingesetzt. Hierbei wird ebenfalls Kohlendioxid freigesetzt, welches aufgefangen werden muss, um eine klimaneutrale Herstellung von Ammoniak zu gewährleisten. Zum Vorwärmen kann darüber hinaus auch die Abwärme des Rauchgases des befeuerten Brenners eingesetzt werden.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, beim Vorwärmen der Eduktströme für die Ammoniakherstellung im autothermen Reformier die zusätzliche Kohlendioxidfreisetzung in die Atmosphäre zu verringern ohne dass dies einen signifikanten zusätzlichen Aufwand beim Entfernen von Kohlendioxid erfordert.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Herstellung von Ammoniak mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen, durch eine Ammoniaksyntheseanlage mit den in Anspruch 8 angegebenen Merkmalen sowie durch ein Verfahren zum Umrüsten einer Ammoniaksyntheseanlage mit den in Anspruch 15 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den Zeichnungen.

Ein derartiges Verfahren umfasst daher die Schritte a) Bereitstellen von drei Eduktgasen, nämlich eines kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases, eines luftbasierenden Eduktgases und eines dampfhaltigen Eduktgases, b) Erwärmen von zumindest einem der drei Eduktgase mit einer befeuerten Brennvorrichtung, wobei zumindest ein erwärmtes Eduktgas erhalten wird, c) Einspeisen des zumindest einen erwärmten Eduktgases sowie der übrigen der drei Eduktgase in einen autothermen Reformier, d) autothermes Reformieren der drei Eduktgase, wobei ein reformiertes Gasgemisch erhalten wird, e) Einspeisen des reformierten Gasgemischs in einen Ammoniaksynthesekreislauf mit einem Synthesekreislaufgas, f) Umsetzen des Synthesekreislaufgases in einem Konverter, wobei Ammoniak im Synthesekreislaufgas erzeugt wird, und g) Aufteilen des Synthesekreislaufgases in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom. Charakteristisch ist dabei, dass der erste Teilstrom der befeuerten Brennvorrichtung (Brenner, befeuerter Brenner) als wasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt wird.

Ein Verfahren zur Herstellung von Ammoniak ist ein Verfahren, in welchem aus Edukten Ammoniak hergestellt wird. Ein derartiges Verfahren wird typischerweise in einer Ammoniaksyntheseanlage durchgeführt. Eine Ammoniaksyntheseanlage ist eine Anlage, die zur Herstellung von Ammoniak aus Wasserstoff und Stickstoff vorgesehen ist. Eine derartige Anlage weist einen Ammoniaksynthesekreislauf (Synthesekreislauf) auf, also einen Bereich, welcher zumindest teilweise für das Reaktionsgasgemisch kreislaufartig-zyklisch durchlaufbar aufgebaut ist und dafür eingerichtet ist, dass innerhalb dieses Ammoniaksynthesekreislaufs die Synthese des Ammoniaks stattfindet. Als wesentliches funktionales Element weist der Ammoniaksynthesekreislauf einen Konverter (Ammoniakkonverter, Synthesereaktor, Ammoniaksynthesereaktor) auf, der eingerichtet ist zum katalytischen Umsetzen von Stickstoff und Wasserstoff zumindest teilweise zu Ammoniak, üblicherweise nach dem Haber-Bosch-Verfahren. Beim Haber-Bosch-Verfahren wird die Reaktion typischerweise in Anwesenheit eines Eisenkatalysators bei Temperaturen aus einem Bereich von etwa 350 °C bis etwa 550 °C und bei einem Druck von mehr als 100 bar gemäß der Reaktionsgleichung $3 \text{ H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ NH}_3 + 92.28 \text{ kJ/mol}$ durchgeführt. Das als Synthesekreislaufgas (Kreislaufgas) zirkulierende Gasgemisch weist als Hauptbestandteile Stickstoff, Wasserstoff und Ammoniak auf, darüber hinaus kann es aber gegebenenfalls auch weitere Bestandteile enthalten. Es wird in den Konverter eingeleitet, tritt dort in Kontakt mit dem Katalysator und wird aus dem Konverter herausgeleitet, wobei das herausgeleitete Gasgemisch im Produktionsbetrieb einen höheren Ammoniakgehalt aufweist als das eingeleitete Gasgemisch (und dementsprechend einen niedrigeren Stickstoffgehalt und einen niedrigeren Wasserstoffgehalt als das eingeleitete Gasgemisch). Häufig wird dabei ein mehrstufiger Konverter eingesetzt, bei welchem das Synthesekreislaufgas nacheinander durch zwei, drei oder mehr Reaktionsräume oder Reaktionsgefäße hindurchgeleitet wird, zwischen welchen zum Abführen der Wärme, die bei der Reaktion entsteht, in der Regel Wärmetauscher angeordnet sind, mittels welcher das in die einzelnen Reaktionsräume oder Reaktionsgefäße einzuleitende Synthesekreislaufgas durch das aus dem Reaktionsraum herausströmende Synthesekreislaufgas vorgewärmt wird.

Im Ammoniaksynthesekreislauf wird das Gasgemisch mit Hilfe eines Kompressors im Kreis geführt (zyklisch gefördert). Der Kompressor (Verdichter) ist eingerichtet und angeordnet, um das Gasgemisch im Ammoniaksynthesekreislauf in eine Förderrichtung zyklisch zu fördern, die Synthesekreislaufrichtung. Das Fördern erfolgt dabei durch

Druckunterschiede über den Kompressor, welche durch den Kompressor aufgebaut werden; typischerweise wird das Synthesekreislaufgas bei einem Druck von etwa 170 bar bis etwa 300 bar, insbesondere von 190 bar bis 210 bar, gefördert. Demzufolge weist der Kompressor eine Saugseite und eine Druckseite auf. Über die Saugseite nimmt der Kompressor das Gasgemisch aus dem Ammoniaksynthesekreislauf auf und gibt dies über die Druckseite wieder an den Ammoniaksynthesekreislauf ab. Dazu ist der Einlass des Konverters mit der Druckseite des Kompressors strömungstechnisch verbunden und der Auslass des Konverters mit der Saugseite des Kompressors strömungstechnisch verbunden. „Strömungstechnisch verbunden“ bedeutet, dass eine für ein fluides Medium wie ein Gas oder eine Flüssigkeit durchströmbare Verbindung besteht (hier zwischen der Druckseite des Kompressors und dem Einlass des Konverters beziehungsweise dem Auslass des Konverters und der Saugseite des Kompressors), wobei dadurch nicht ausgeschlossen ist, dass sich innerhalb der durchströmbaren Strecke (Förderstrecke) weitere funktionale Elemente befinden, auch solche, mittels welcher diese Verbindung umgelenkt oder anderweitig geregelt oder sogar abgesperrt werden kann.

Stromabwärts vom Konverter (die Begriffe „stromabwärts“ und „stromaufwärts“ beziehen sich beim Ammoniaksynthesekreislauf auf die Synthesekreislaufrichtung, also die Förderrichtung des Gasgemischs innerhalb des Ammoniaksynthesekreislaufs) wird während des Produktionsbetriebs - insbesondere während eines Betriebs bei Volllast, also bei einer Auslastung von 100 % - in einem Ammoniakabscheider Ammoniak aus dem Ammoniaksynthesekreislauf entfernt (typischerweise kryogen in einer Kälteanlage, beispielsweise einer Ammoniakkälteanlage, in der das Gasgemisch abgekühlt wird, wobei Ammoniak in flüssiger Form auskondensiert und vom Gasstrom abgetrennt werden kann, jedoch sind grundsätzlich auch andere teilweise selektive Verfahren zur Gasabtrennung möglich, beispielsweise eine Druckwechsel-Adsorption / „Pressure Swing Adsorption“ oder eine Abtrennung mittels selektiv durchlässiger Membranen). Aufgrund der Verfahrensführung im Durchflussbetrieb wird im Ammoniakabscheider häufig nur ein Teil des Ammoniaks aus dem Ammoniaksynthesekreislauf entfernt, es verbleibt ein gewisser Restanteil im Synthesekreislaufgas. Stromabwärts von oder in dem Ammoniakabscheider werden dem Gasstrom im Ammoniaksynthesekreislauf entsprechend Edukte (insbesondere Wasserstoff und Stickstoff) in einer Einspeisung zugeführt (als Frischgas), bevor der Gasstrom erneut in den Konverter eingeleitet wird.

Neben der Einspeisung, der Fördervorrichtung, dem Konverter und dem Ammoniakabscheider kann der Ammoniaksynthesekreislauf weitere funktionale Elemente aufweisen, etwa Kühlvorrichtungen zum Abkühlen des Gasgemischs, nachdem es infolge der bei der Reaktion anfallenden Wärmetönung erhitzt wurde (insbesondere
5 Kühler, Abhitzedampferzeuger oder Dampfüberhitzer), Heizvorrichtungen, um das Gasgemisch stromaufwärts vom Konverter auf eine Temperatur zu erwärmen, die erforderlich ist, um im Konverter die Umsetzung der Edukte zum Produkt Ammoniak zu gewährleisten (insbesondere elektrische Heizvorrichtungen) und/oder kombinierte Heiz-/Kühlvorrichtungen, um überschüssige Wärmeenergie des Gasgemischs nach Austritt
10 aus dem Konverter dafür zu nutzen, das Gasgemisch vor Eintritt in den Konverter zu erwärmen (insbesondere Gas-Gas-Wärmetauscher).

Das Frischgas, welches in den Ammoniaksynthesekreislauf (Backend) eingespeist wird, wird in der Ammoniaksyntheseanlage von einer Synthesegaserzeugungsvorrichtung (Frontend) über die Einspeisung als Synthesegas bereitgestellt, also als ein Gasgemisch,
15 das für die Synthese von Ammoniak eingesetzt wird und welches vor allem Stickstoff und Wasserstoff enthält. In der Synthesegaserzeugungsvorrichtung wird das Synthesegas aus drei unterschiedlichen Eduktgasen erzeugt, nämlich aus einem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas, einem Oxidationsmittel und Wasser. Dazu werden diese Gase in einen Reformier eingebracht, wo sie miteinander reagieren. Im Reformier
20 können je nach Reaktionsführung unterschiedliche Prozesse ablaufen. Bei einer Dampfreformierung werden Kohlenwasserstoffe mit Wasserdampf in einem endothermen Prozess allotherm (gegebenenfalls auch autotherm) katalytisch zur Reaktion gebracht, typischerweise bei Temperaturen von etwa 700 °C bis 900 °C und einem Druck von etwa 25 bar bis 80 bar, während bei einer partiellen Oxidation
25 Kohlenwasserstoffe in einem exothermen Prozess mit einem Sauerstoffunterschuss thermisch oder katalytisch zur Reaktion gebracht werden, wobei in beiden Fällen molekularer Wasserstoff entsteht. Bei der autothermen Reformierung werden Dampfreformierung und partielle Oxidation miteinander kombiniert, sodass ein Teil der Kohlenwasserstoffe unterstöchiometrisch oxidiert wird und die dabei entstehende
30 Wärmetönung für eine Dampfreformierung eingesetzt wird. Beim Reformieren entstehendes Kohlenmonoxid kann dabei im Rahmen einer Kohlenstoffoxid-Konvertierung (Kohlenoxid-Konvertierung, Kohlenmonoxid-Konvertierung, Wassergas-Shift-Reaktion) mit Wasser unter Bildung von Kohlendioxid und Wasserstoff umgesetzt

werden, wodurch sich die Wasserstoffausbeute erhöhen lässt. Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine derartige autotherme Reformierung.

Bei der Reformierung kann je nach Herkunft des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases vor einem autothermen Reformieren eine Vorbehandlung vor dem Reformieren oder eine
5 Nachbehandlung des beim Reformieren erhaltenen reformierten Gasgemischs erforderlich sein, beispielsweise eine Hydrierung (Hydrogenierung) für kohlenwasserstoffhaltige Eduktgase mit einem hohen Gehalt an ungesättigten Verbindungen und/oder eine Vorabentschwefelung für kohlenwasserstoffhaltige Eduktgase mit hohem Schwefelgehalt (typischerweise erfolgt dies katalytisch in einem
10 definierten Temperaturbereich typischerweise von etwa 320 °C bis etwa 400 °C, sodass ein Teil des Vorwärmens - einschließlich dem Erhitzen mit der befeuerten Brennvorrichtung - auch vor der Vorabentschwefelung durchgeführt werden kann). Im Rahmen der Nachbehandlung werden neben einer Kohlenstoffoxid-Konvertierung üblicherweise Maßnahmen getroffen, um den Sauerstoffgehalt des Synthesegases
15 (reformierten Gasgemischs) zu verringern, da bereits Spuren von Sauerstoff bei der nachgelagerten Reaktion des Synthesegases zu Ammoniak die Aktivität des Katalysators beeinträchtigen oder diesen sogar beschädigen können. Dazu wird das beim Kohlenstoffoxid-Konvertieren erhaltene Kohlendioxid aus dem reformierten Gasgemisch entfernt, beispielsweise mittels einer basischen Kohlendioxidwäsche oder einer
20 Methanolwäsche, verbliebene Spuren an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid in einem Methanisator im Rahmen eines Methanisierens zu Methan konvertiert und etwaige Restfeuchtigkeit durch Trocknen entfernt, beispielsweise mit Hilfe von geeigneten Molekularsieben. Überdies besteht die Möglichkeit, Wasser auch erst im Ammoniaksynthesekreislauf zu entfernen; Wird das reformierte Gasgemisch in den
25 Ammoniaksynthesekreislauf stromaufwärts vom Ammoniakabscheider eingespeist, kann das im reformierten Gasgemisch enthaltene Wasser beispielsweise auch kryogen aus dem Synthesekreislaufgas abgetrennt werden.

Als kohlenwasserstoffhaltiges Eduktgas kann jedes Gas eingesetzt werden, welches Kohlenwasserstoffe enthält und für ein autothermes Reformieren geeignet ist, also
30 insbesondere (natürliches) Erdgas und/oder dem natürlichen Erdgas ähnliche synthetische Gasgemische. Erdgas ist ein Gasgemisch, welches zumeist überwiegend aus Methan besteht, je nach Herkunft kann dieses weitere langkettige Bestandteile aufweisen, beispielsweise Ethan, Propan, Butan, Ethen, Pentan, sowie weitere

Bestandteile wie etwa Wasser, Schwefelwasserstoff sowie organische Schwefelverbindungen, Stickstoff, Kohlendioxid und Edelgase. Beispiele für Gasgemische, die natürlichen Erdgas ähnlich sind, sind etwa synthetic natural gas (SNG) oder auch nicht-synthetisches Biogas.

- 5 Das Oxidationsmittel ist typischerweise ein luftbasierendes Eduktgas, also ein Gas, welches als Oxidationsmittel Luftsauerstoff beinhaltet. Anstelle von Luft kann auch ein anderes Oxidationsmittel verwendet werden. So wurde im Vortrag „*Decarbonize with blue ammonia*“ von Ameet Kakoti und Per Juul Dahl, der am 13.09.2022 auf dem *66th Annual Safety in Ammonia Plants and Related Facilities Symposium* der AIChE in Chicago
- 10 gehalten wurde, ein Verfahren zum Herstellen von Ammoniak beschrieben, in welchem das Synthesegas in einem autothermen Reformier erzeugt wird. Als Oxidationsmittel für das autotherme Reformieren wird dort reiner Sauerstoff eingesetzt, welcher von einer kryogenen Luftzerlegungsanlage erhalten wird. In dieser Luftzerlegungsanlage wird ebenfalls reiner Stickstoff erhalten, welcher mit dem Synthesegas vor dem Einspeisen in
- 15 den Ammoniaksynthesekreislauf vermischt wird. Ein Vorteil dieser Reaktionsführung besteht darin, dass das Synthesekreislaufgas lediglich geringe Mengen an inerten Gasen wie Argon oder Methan enthält, sodass es nur selten erforderlich ist, Ablassgas abzulassen (purge), wodurch sich für eine vorgegebene Kapazität der Ammoniakproduktion die Umlaufmenge an Synthesekreislaufgas und somit auch die
- 20 Konvertergröße verringert. Die gesamte Sauerstoffmenge, die beim autothermen Reformieren benötigt wird, wird durch die Luftzerlegungsanlage erhalten, weshalb bei dieser Reaktionsführung die Luftzerlegungsanlage eine relativ hohe Kapazität aufweisen muss, was mit hohen Kosten verbunden ist. Da Stickstoff beim Reformieren als chemisch inerte Komponente angesehen werden kann, ist die Verwendung von reinem Sauerstoff
- 25 nicht zwingend erforderlich. Es existieren auch andere Verfahren, in welchen als Oxidationsmittel Luft eingesetzt wird, welche mit Sauerstoff angereichert wird; die Verwendung von mit Sauerstoff angereicherter Luft ist hier bevorzugt. Auf diese Weise ist es möglich, die Kosten für den Bau der Luftzerlegungsanlage deutlich zu verringern, da diese Anlage dann lediglich für die Sauerstoffmenge ausgelegt sein muss, mit welcher
- 30 die Luft angereichert wird. Die erforderliche Sauerstoffmenge wird bestimmt, indem zunächst die Luftmenge anhand der für die Ammoniakherstellung erforderlichen Stickstoffmenge festgelegt wird und die für die jeweilige Anlage benötigte Sauerstoffmenge aus dem Wärmebedarf der Anlage sowie aus weiteren Faktoren

berechnet wird (beispielsweise dem Verhältnis von Schwefel zu Sauerstoff im kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas oder der angestrebten Kohlendioxidemission). Die Differenz zwischen der benötigten Sauerstoffmenge und dem in der festgelegten Luftmenge enthaltenen Sauerstoff muss in Form von (reinem) Sauerstoff hinzugefügt werden. Als Dampf wird ein dampfhaltiges Eduktgas eingesetzt, also ein Gasgemisch, welches Wasserdampf enthält, oder aber auch reiner Wasserdampf; dieser kann beispielsweise vorab in einem Dampfkessel oder Sättiger erzeugt werden, dem Wasser in flüssiger Form zugeführt wird. Demzufolge werden die drei Eduktgase – ein luftbasierendes Eduktgas, ein dampfhaltiges Eduktgas und ein kohlenwasserstoffhaltiges Eduktgas – bereitgestellt. Diese können jeweils einzeln bereitgestellt werden oder als Gasgemisch, bei denen zwei oder mehrere dieser Eduktgase zusammen bereitgestellt werden. Es ist auch möglich, dass eines dieser Eduktgase durch ein anderes bereitgestellt wird, etwa, indem das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas in einem Sättiger durch flüssiges Wasser hindurchgeleitet wird und auf dem Weg durch das Wasser Feuchtigkeit in Form von Dampf aufnimmt, wodurch das so erhaltene Gasgemisch zugleich das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas und auch das dampfhaltige Eduktgas ist. Je nach konkretem Verfahren können zusätzlich zu den drei Eduktgasen auch andere Eduktgase zum Einsatz gelangen, beispielsweise als viertes Eduktgas oder als weitere Eduktgase. Die Eduktgase werden typischerweise komprimiert zur Verfügung gestellt oder im Verlauf des Verfahrens komprimiert.

Der zweite Schritt des Verfahrens zur Herstellung von Ammoniak beinhaltet das Erwärmen von zumindest einem der drei Eduktgase mit einer befeuerten Brennvorrichtung, wobei zumindest ein erwärmtes Eduktgas erhalten wird. Dabei kann beispielsweise das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas erwärmt werden oder das dampfhaltige Eduktgas oder das luftbasierende Eduktgas oder zwei der vorgenannten Eduktgase, beispielsweise das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas und das dampfhaltige Eduktgas, oder alle drei Eduktgase. Die befeuerte Brennvorrichtung ist ein befeuerter Brenner, also eine Vorrichtung, der ein flüssiger oder gasförmiger Brennstoff zugeführt wird, welcher unter Flammenbildung verbrannt wird und dabei thermische Energie (Wärme) freisetzt. Mit Hilfe einer derartigen befeuerten Brennvorrichtung wird die Außenseite eines Rohres oder Behälters erhitzt, in welchem sich das zu erwärmende Eduktgas befindet oder durch welchen dieses hindurchströmt, wodurch das Eduktgas über die Wandung des Rohres oder Behälters die thermische Energie aufnimmt und

erwärmt wird. Bei der befeuerten Brennvorrichtung tritt das Brenngas also nicht in direkten Kontakt mit dem Eduktstrom, sondern lediglich in thermischen Kontakt. Das Vorwärmen beim autothermen Verfahren, welches unter Verwendung der befeuerten Brennvorrichtung durchgeführt wird, unterscheidet sich signifikant vom konventionellen Dampfpreformieren, da bei letzteren nicht bloß die Zuleitungen der Eintrittströme erwärmt werden, sondern der Reformer selbst in einer Ofenbox (Brennkammer, fire box) angeordnet ist und somit direkt befeuert wird, wobei die Wärmeübertragung von der Ofenbox zum Reformer in der Regel über Strahlung erfolgt. Anders als beim klassischen Dampfpreformieren ist bei einer autothermen Reaktionsführung eine separate Befeuerung des Reformers nicht erforderlich, da die dafür erforderliche Wärmeenergie von der ablaufenden Reaktion selber aufgebracht wird. Im autothermen Reformieren wird eine derartige befeuerte Brennvorrichtung in erster Linie dazu eingesetzt, die Eduktgase (oder zumindest eines davon) zu erhitzen; darüber hinaus kann die von der befeuerten Brennvorrichtung erzeugte Hitze separat auch zum Erwärmen anderer Prozessströme eingesetzt werden, beispielsweise von Kesselspeisewasser und Wasserdampf. Wird die befeuerte Brennvorrichtung zum Erhitzen von mehr als einen Eduktgas eingesetzt, so werden die jeweiligen Eduktgasströme entweder miteinander vermischt, bevor sie die befeuerte Brennvorrichtung erreichen (sie befinden sich also beim Erhitzen in derselben Rohrleitung) oder sie erreichen die befeuerten Brennvorrichtung in unterschiedlichen Rohrleitungen und werden folglich bei der befeuerten Brennvorrichtung oder auch erst dahinter miteinander vermischt. Darüber hinaus ist es auch möglich, dass die Eduktgasströme erst im autothermen Reformer miteinander vermischt werden. Das Erwärmen muss erfolgen, bevor die Edukte in den eigentlichen Reformer eingeleitet werden.

Im dritten Schritt des Verfahrens wird das zumindest eine erwärmte Eduktgas sowie die übrigen der drei Eduktgase in einen autothermen Reformer eingespeist. Zwei oder alle drei Eduktgase können dabei vor dem Einspeisen zu einem gemeinsamen Eduktgasstrom vereinigt werden, der dann als gemeinsamer Eduktgasstrom in den autothermen Reformer eingespeist wird, oder auch einzeln in den autothermen Reformer eingespeist werden. Ein Einspeisen kann beliebig erfolgen, beispielsweise als radiale Einspeisung oder über mehrere ringförmig angeordnete Einlassdüsen, wobei letzteres eine bessere Wärmeverteilung unter geringerer Volumenbeteiligung und damit definierte

Reaktionsbedingungen ermöglicht. Wurde mehr als ein Eduktgas erwärmt, so wird folglich mehr als ein erwärmtes Eduktgas in den autothermen Reformier eingespeist.

Im vierten Schritt werden die drei eingespeisten Eduktgase autotherm reformiert, sie werden also einer autothermen Reaktion im autothermen Reformier unterzogen. Dabei
5 wird ein reformiertes Gasgemisch erhalten, dessen Gesamtgehalt an Wasserstoff höher ist und dessen Gesamtgehalt an Kohlenwasserstoffen sowie an Wasser (Wasserdampf) und Sauerstoff geringer ist als der des Gasgemisches vor dem autothermen Reformieren. Für das autotherme Reformieren kommen grundsätzlich alle üblichen und geeigneten Verfahrensführungen in Betracht, solange die Reaktionsführung insgesamt autotherm
10 erfolgt (bei einer autothermen Reaktion laufen eine exotherme und eine endotherme Reaktion parallel ab, sodass die bei der exothermen Reaktion entstehende Reaktionswärme für die endotherme Reaktion genutzt werden kann, ohne dass der Gesamtprozess einer weiteren externen Wärmezufuhr bedarf). Eine derartige autotherme Reaktionsführung unterscheidet sich fundamental von einer allothermen
15 Reaktionsführung, bei welcher eine externe Wärmezufuhr erforderlich ist, um eine endotherme Reaktion durchzuführen; letzteres beispielsweise bei einer Dampfreformierung. Der Reformier kann beliebig ausgebildet sein, als einstufiger oder mehrstufiger autothermer Reformier, gegebenenfalls mit einem Wärmetauscher zwischen den Reformierstufen zur Kühlung des reformierten oder teilreformierten Gasgemisches.

20 Im fünften Schritt wird das reformierte Gasgemisch in einen Ammoniaksynthesekreislauf mit einem Synthesekreislaufgas eingespeist. Dabei wird das reformierte Gasgemisch mit dem Synthesekreislaufgas vermischt, wobei dies typischerweise in einem beliebigen der Elemente des Ammoniaksynthesekreislaufs erfolgen kann, beispielsweise in dem Konverter, in der Auftrennung, im Kompressor, im Ammoniakabscheider oder in
25 beliebigen anderen Elementen, beispielsweise in Wärmetauscher an oder in Rohrleitungen, über welche die funktionellen Elemente miteinander verbunden sind. Ein Einspeisen in den Synthesekreislauf, welches in Synthesekreislaufrichtung nach dem Umsetzen im Konverter aber vor dem Entfernen von Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas erfolgt, (also an einer Stelle zwischen dem Konverter und dem
30 Ammoniakabscheider, also in Strömungsrichtung stromabwärts vom Konverter und stromaufwärts vom Ammoniakabscheider), bietet den Vorteil, dass ein Teil der für eine kryogene Abtrennung von Ammoniak erforderliche Abkühlung des Synthesekreislaufgases durch das Zuführen des Frischgases bewirkt wird, gleichzeitig

können etwaige Restmengen an dampfförmigem Wasser, welches im reformierten Gasgemisch enthalten ist (beispielsweise als Reaktionsprodukt eines Methanisierens in einem Methanisator im Rahmen der Aufarbeitung), zusammen mit dem Ammoniak aus dem reformierten Gasgemisch entfernt werden, bevor dieses in den Konverter eingeleitet wird. Ein Einspeisen in den Synthesekreislauf, welches in Synthesekreislaufrichtung nach dem Entfernen von Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas erfolgt (also an einer Stelle zwischen dem Ammoniakabscheider und dem Konverter, also in Strömungsrichtung stromabwärts vom Ammoniakabscheider und stromaufwärts vom Konverter), bietet den Vorteil, dass die Gasmenge geringer ausfällt, die stromaufwärts vom Ammoniakabscheider abgekühlt und stromaufwärts vom Ammoniakabscheider wieder aufgewärmt werden muss.

Erfolgt das Einspeisen in den Rohrleitungen, so wird dabei üblicherweise ein Verbindungsstück verwendet, beispielsweise ein T-förmiges Verbindungsstück (Rohrverbindung) oder ein Y-förmiges Verbindungsstück. Stattdessen kann aber auch eine gesonderte Mischkammer zum Einleiten des reformierten Gasgemischs in das Synthesekreislaufgas vorgesehen sein. Hierbei dient das in den Ammoniaksynthesekreislauf eingespeiste reformierte Gasgemisch als Frischgas, wodurch die im Verlauf der Reaktion verbrauchten Eduktgase ersetzt werden, sodass während des Produktionsbetriebs das Synthesekreislaufgas beim Eintritt in den Konverter in jedem Durchlauf des Ammoniaksynthesekreislaufs eine zumindest im wesentlichen ähnliche Zusammensetzung aufweisen kann. Typische Zusammensetzung für das eingespeiste reformierte Gasgemisch ist beispielsweise von etwa 65 Vol.-% bis etwa 80 Vol.-% Wasserstoff, von etwa 20 Vol.-% bis etwa 30 Vol.-% Stickstoff, von 0 Vol.-% bis etwa 5 Vol.-% Methan, von 0 Vol.-% bis etwa 2 Vol.-% Argon sowie Spuren von Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Wasser, wobei sich die Anteile auf 100 Vol.-% addieren.

Im sechsten Schritt wird das Synthesekreislaufgas in einem Konverter umgesetzt, wobei Ammoniak im Synthesekreislaufgas erzeugt wird. Hierfür können grundsätzlich alle geeigneten Reaktionen und entsprechende Reaktionsbedingungen gewählt werden, häufig gelangt eine Umsetzung in einem Haber-Bosch-Prozess zum Einsatz. Dabei reagiert elementarer Wasserstoff mit elementarem Stickstoff in einer katalytischen Gleichgewichtsreaktion unter Bildung von Ammoniak, wobei Wasserstoff und Stickstoff nicht vollständig zu Ammoniak reagieren, weshalb die Reaktionsführung eine

Rückführung des Synthesekreislaufgases vorsieht, typischerweise nachdem der größte Teil des Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas abgetrennt wird (dies geschieht im Produktionsbetrieb; in einem Teillastbetrieb oder in einem sogenannten „heißen Bereitschaftsbetrieb“ (hot stand-by) kann auf ein Abtrennen von Ammoniak verzichtet werden, um das Kreislaufgas ohne Nettoumsatz im Ammoniaksynthesekreislauf zirkulieren zu lassen, sodass die für die Reaktion erforderlichen Temperaturen beibehalten werden und bei einem Übergang in den Produktionsbetrieb oder in die für den Volllastbetrieb kein langwieriges Aufheizen erforderlich ist).

Im siebenten Schritt wird das Synthesekreislaufgas in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom aufgeteilt. Der erste Teilstrom ist dabei mengenmäßig kleiner als der zweite Teilstrom; typischerweise wird ein erster Teilstrom von etwa 5 Vol.-% bis 12 Vol.-% des gesamten Synthesekreislaufgasstroms abgetrennt, typischerweise von etwa 10 Vol.-%, so dass (bei einer Auftrennung in lediglich zwei Teilströme) ein zweiter Teilstrom von etwa 88 Vol.-% bis 95 Vol.-% des gesamten Synthesekreislaufgasstroms im Ammoniaksynthesekreislauf verbleibt, typischerweise etwa 90 Vol.-%. Grundsätzlich kann diese Aufteilung überall innerhalb des Ammoniaksynthesekreislaufs erfolgen, beispielsweise stromabwärts vom Konverter und stromaufwärts von der Einspeisung oder stromabwärts vom Konverter und stromaufwärts vom Ammoniakabtrennen, je nach Aufbau des Ammoniaksynthesekreislaufs lässt sich die Aufteilung aber auch an allen anderen Positionen des Ammoniaksynthesekreislaufs durchführen, beispielsweise stromabwärts von der Einspeisung und stromaufwärts vom Konverter, stromabwärts von der Einspeisung und stromaufwärts vom Kompressor, stromabwärts vom Ammoniakabtrennen und stromaufwärts vom Einspeisen, stromabwärts vom Ammoniakabtrennen und stromaufwärts vom Konverter, stromabwärts vom Ammoniakabtrennen und stromaufwärts vom Kompressor, stromabwärts vom Kompressor und stromaufwärts vom Konverter und dergleichen, wobei jede Anordnung bestimmte Vorteile und Nachteile mit sich bringt.

Bei der Aufteilung (einschließlich Abtrennung) wird demzufolge ein Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas abgezweigt und aus dem Ammoniaksynthesekreislauf entfernt. Natürlich ist es auch möglich, mehr als einen Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas abzuzweigen, gegebenenfalls auch an unterschiedlichen Positionen des Synthesekreislaufs, also beispielsweise einen Teilstrom stromabwärts vom Konverter und stromaufwärts von der Einspeisung, einen weiteren Teilstrom stromabwärts von der

Ammoniakabtrennung und stromaufwärts von der Einspeisung. Dabei ist es insgesamt möglich, das Synthesekreislaufgas dort in nur zwei Teilströme aufzuteilen oder auch in mehr als zwei Teilströme, beispielsweise drei oder vier Teilströme, welche unterschiedlichen Verwendungen zugeführt werden können (diese können also als Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung zugeführt werden oder zum Rezirkulieren erneut zum Konverter geführt werden, darüber hinaus sind auch weitere Verwendungen möglich wie etwa das Einleiten des abgezweigten Teilstroms in einen Speichertank - um beispielsweise einen Vorrat anzulegen, der erst zu einem späteren Zeitpunkt wieder in den Ammoniaksynthesekreislauf eingespeist wird - oder das Zuführen des abgezweigten Teilstroms zu einer anderen chemischen Anlage, wo die Zusammensetzung als Edukt eingesetzt wird, gegebenenfalls nach einer vorherigen Aufarbeitung). Wird das Synthesekreislaufgas in mehr als zwei Teilströme aufgeteilt, dann können diese in Strömungsrichtung des jeweiligen Teilstroms stromabwärts von der Abzweigung ihrerseits getrennt, erneut zusammengeführt oder separat weitergeleitet werden. In diesen Fällen ist es möglich, dass die separaten Teilströme unterschiedlichen Nachbearbeitungen zugeführt werden; so ist es beispielsweise möglich, dass aus dem Synthesekreislaufgas herausgeführte Teilströme oder der als Synthesekreislaufgas weitergeführte Teilstrom mit Hilfe von unterschiedlichen Wärmetauschern unterschiedlich abgekühlt und/oder zum Vorwärmen von anderen Gasströmen eingesetzt werden. Da das Synthesekreislaufgas an den unterschiedlichen Positionen innerhalb des Ammoniaksynthesekreislaufs unterschiedliche Zusammensetzungen sowie unterschiedlichen Druck und unterschiedliche Temperatur aufweisen kann, kann bei einer Abspaltung mehrerer Teilströme ein abgezweigtes Synthesekreislaufgas erhalten werden, welches für den gewünschten Zweck besonders geeignet ist.

Die Abzweigung kann dabei geregelt oder ungeregelt erfolgen, beispielsweise über einfache Verbindungsstücke wie zum Beispiel T-förmige Verbindungsstücke oder Y-förmige Verbindungsstücke, welche durchgängig offen ausgebildet sind oder mit entsprechenden Verschlussmitteln absperrbar ausgeführt sind, beispielsweise mit Ventilen oder dergleichen. Typischerweise wird ein derartiger Teil des Gasstroms als Ablassgas abgezweigt (purge gas; normalerweise von etwa 5 Vol.-% bis etwa 15 Vol.-%, typischerweise etwa 8 Vol.-%, des im Ammoniaksynthesekreislauf umlaufenden Synthesekreislaufgasstroms, sodass etwa 85 Vol.-% bis etwa 95 Vol.-%, typischerweise etwa 92 Vol.-%, des Synthesekreislaufgases im Ammoniaksynthesekreislauf verbleiben),

um zu verhindern, dass sich inerte Bestandteile des Synthesekreislaufgases beim wiederholten Durchlaufen des Ammoniaksynthesekreislaufs dort anreichern und die Reaktionsführung beeinflussen (beispielsweise Argon, welches sich im reformierten Gasgemisch befinden kann, wenn Stickstoff nicht als reines Gas zugeführt wird –
5 beispielsweise aus einer Druckwechsel-Adsorption erhalten – sondern in Form von Luft, welche fast 1 Vol.-% Argon enthält). Bei einer einfachen konventionellen Verfahrensführung wird das Ablassgas aus dem Ammoniaksynthesekreislauf abgezweigt und entweder verdünnt oder unverdünnt in die Atmosphäre abgeblasen. Darüber hinaus existieren verbesserte konventionelle Verfahren, bei welchen die Belastung für die
10 Umwelt dadurch verringert wird, dass das Ablassgas zunächst nachverbrannt wird (beispielsweise abgefackelt, etwa am Fackelkopf eines kaminähnlichen Rohres, an welchem ein Brenner angeordnet ist), bevor das dabei erhaltene Rauchgas in die Atmosphäre abgeblasen wird. Bei einer allothermen Verfahrensführung – beispielsweise in einem Dampfreformer – kann im konventionellen Verfahren die bei einer
15 Nachverbrennung in einer Ofenbox erzeugte Wärme genutzt werden, um den Reformer direkt zu erhitzen und die endotherme Reformierung aufrecht zu halten.

Im erfindungsgemäßen Verfahren ist dies nicht vorgesehen. Dort wird vielmehr der erste Teilstrom der befeuerten Brennvorrichtung als wasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt. Damit wird das abgezweigte Ablassgas zum Betreiben eines Brenners verwendet, der im
20 Synthesekreislaufgas enthaltene Wasserstoff – typischerweise von etwa 45 Vol.-% bis etwa 60 Vol.-% - dient hierbei als Brennstoff, durch dessen Verbrennung der Brenner der befeuerten Brennvorrichtung zumindest eines der drei Eduktgase vor dem Einspeisen in den autothermen Reformer vorwärmt. Da der Wasserstoff im Ablassgas benötigt wird, ist – anders als in herkömmlichen Verfahren – im vorliegenden Verfahren eine
25 Wasserstoffrückgewinnung aus dem Ablassgas (beispielsweise unter Nutzung von Membrantechnologie) also gerade nicht sinnvoll. Darüber hinaus wird etwaiges im Synthesekreislaufgas enthaltene Methan ebenfalls als Brennstoff genutzt (auch wenn dadurch geringfügige Mengen an Kohlendioxid gebildet und freigesetzt werden).

Auf diese Weise ist es möglich, die befeuerte Brennvorrichtung mit einem Brenngas zu
30 betreiben, welches keine Kohlenwasserstoffe enthält (oder allenfalls Spuren davon), sodass eine zusätzliche Emission von Kohlendioxid in die Atmosphäre aufgrund der Befeuerung mit Hilfe der befeuerten Brennvorrichtung vermieden werden kann. Dabei ist es vorteilhaft, wenn der erste Teilstrom nach dem Abtrennen vom zweiten Teilstrom

zunächst einer Ammoniakabtrennung unterzogen wird, beispielsweise in einer Kälteanlage. Auf diese Weise wird auch aus dem ersten Teilstrom das Zielprodukt Ammoniak gewonnen, gleichzeitig wird verhindert, dass Ammoniak mit dem Abgas der befeuerten Brennvorrichtung in die Atmosphäre freigesetzt wird; diese Menge lässt sich
5 deutlich verringern, wenn der erste Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas stromabwärts vom Ammoniakabscheider und stromaufwärts vom Konverter abgetrennt wird, da dort das Synthesekreislaufgas nur wenig Ammoniak enthält - und folglich auch der an dieser Stelle daraus abgezweigte erste Teilstrom. Bevorzugt wird dabei ein derartiger Anteil des Synthesekreislaufgases als der erste Teilstrom abgetrennt, dass der
10 darin enthaltene Wasserstoff ausreicht, um die befeuerten Brennvorrichtung ohne weiteren Brennstoff betreiben zu können. Ist dies nicht sinnvoll oder möglich, kann zusätzlich Synthesegas, welches ebenfalls Wasserstoff enthält, aus der Synthesegaserzeugungsvorrichtung abgezweigt und der befeuerten Brennvorrichtung zugeführt werden, um im Brenngas den ersten Teilstrom zu ergänzen. Grundsätzlich ist
15 es auch möglich, etwaigen fehlenden Brennstoff im Brenngas durch ein kohlenwasserstoffhaltiges Brenngas zu ersetzen; dies ist allerdings unvorteilhaft, da hierbei zusätzliches Kohlendioxid gebildet und freigesetzt wird - allerdings ist die Menge des freigesetzten Kohlendioxids deutlich geringer als bei der alleinigen Verwendung eines Brenngases auf der Grundlage von Kohlenwasserstoffen wie Methan.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere vorgesehen, dass es ferner die Schritte h) Zurückführen des zweiten Teilstroms zum Einspeisen des reformierten Gasgemischs und i) Entfernen von Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas umfasst. Durch das Rückführen des zweiten Teilstroms zum Einspeisen des reformierten Gasgemischs wird ein Teil des
25 Synthesekreislaufgases stromabwärts vom Konverter wieder zum Eingang des Konverters (und somit zu einer Position stromaufwärts vom Konverter) zurückgeleitet und durchläuft erneut eine Konvertierung, wodurch sich ein echter Ammoniaksynthesekreislauf ausbildet. Gleichzeitig wird Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas entfernt – aus wirtschaftlichen Gründen erfolgt dies häufig im
30 Rahmen einer (fraktionierten) Abtrennung in einer Kälteanlage, typischerweise einer Ammoniak-Kälteanlage, welche Ammoniak als Kältemittel einsetzt, jedoch sind auch andere Anlagen zum Abtrennen von Gasen grundsätzlich einsetzbar, beispielsweise eine Druckwechsel-Adsorption, um bei einer besonderen Verfahrensführung mehr als eine

Komponente des Kreislaufgases abzutrennen. Durch das Abtrennen von Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas vor dem erneuten Eintreten in den Konverter wird eine Zusammensetzung erhalten, welche nicht der Gleichgewichtszusammensetzung entspricht, die bei dem jeweiligen Druck und der jeweiligen Temperatur vorliegt, sodass
5 beim erneuten Durchlaufen des Konverters eine entsprechende Menge an Ammoniak gebildet und die Ammoniakausbeute insgesamt erhöht wird; diese Ausgestaltung ist insbesondere im Rahmen eines Haber-Bosch-Verfahrens von Vorteil.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere vorgesehen, dass ferner das luftbasierende Eduktgas Luft ist, die mit
10 Sauerstoff angereichert wurde, insbesondere mit Sauerstoff aus einer Luftzerlegung. Bevorzugt ist hier ein Gesamtanteil an Sauerstoff in der angereicherten Luft aus einem Bereich von etwa 20 Vol.-% bis etwa 50 Vol.-%, besonders bevorzugt aus einem Bereich von etwa 35 Vol.-% bis etwa 48 Vol.-%. Im Unterschied zum regulären Dampfreformieren, bei welchem als Oxidationsmittel Luft eingesetzt wird, wird beim
15 autothermen Reformieren als Oxidationsmittel typischerweise reiner Sauerstoff eingesetzt. Dies bringt den Nachteil mit sich, dass für das autotherme Reformieren eine separate Anlage zum Erzeugen von reinem Sauerstoff benötigt wird. Im vorliegenden Fall lässt sich bei der Synthesegasherstellung mittels autothermen Reformieren jedoch auch Luft einsetzen, welche mit Sauerstoff angereichert wurde. Auch hier wird der Sauerstoff
20 typischerweise aus einer entsprechenden Anlage zum Bereitstellen von reinem Sauerstoff gewonnen, beispielsweise einer kryogenen Luftzerlegungsanlage, einer Druckwechsel-Adsorptionsanlage oder einer Membrananlage, stattdessen kann dieser natürlich auch einem Tank oder der Rohrleitung eines Sauerstoffversorgungssystems entstammen. Da in dieser Ausgestaltung des vorliegenden Verfahrens jedoch das
25 benötigte Oxidationsmittel nicht vollständig aus reinem Sauerstoff besteht und der gereinigte Sauerstoff nur einen Teil des gesamten Oxidationsmittels darstellt, ist es möglich, die Kapazität einer solchen Anlage zum Bereitstellen von reinem Sauerstoff gegenüber der Kapazität herkömmlicher Anlagen zu verringern, typischerweise auf etwa ein Drittel der sonst erforderlichen Kapazität.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere vorgesehen, dass zusätzlich das reformierte Gasgemisch vor dem
30 Einspeisen in das Synthesekreislaufgas einem Kohlenstoffoxid-Konvertieren unterzogen wird, in welchem Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid reagiert, gefolgt von einem

Kohlendioxidabtrennen, in welchem Kohlendioxid aus dem reformierten Gasgemisch entfernt wird, gefolgt von einem Methanisieren, in welchem Kohlenstoffoxide im reformierten Gasgemisch in Methan umgewandelt werden. Insbesondere beim Einsatz des Haber-Bosch-Verfahrens ist es wichtig, alle sauerstoffhaltigen Verbindungen aus dem reformierten Gasgemisch - insbesondere Sauerstoff, Wasser, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid - zu entfernen, da die Aktivität der bei diesem Verfahren eingesetzten Katalysatoren bei Kontakt mit sauerstoffhaltigen Verbindungen abnimmt. Beim autothermen Reformieren wird typischerweise das Verhältnis von Kohlenwasserstoffen zum Sauerstoff unterstöchiometrisch gewählt, da die Kohlenwasserstoffe nicht vollständig oxidieren sollen, vielmehr soll hierbei ja gerade Wasserstoff erzeugt werden. Dadurch ist bereits durch die Verfahrensführung sichergestellt, dass das reformierte Gasgemisch keinen molekularen Sauerstoff mehr enthält. In der Kohlenstoffoxid-Konvertierung (Wassergas-Konvertierungsreaktion, Wassergas-Shift-Reaktion) reagiert dann Kohlenmonoxid (gegebenenfalls mehrstufig) mit im Gasgemisch enthaltenem Wasserdampf zu Kohlendioxid und Wasserstoff, wodurch der Kohlenmonoxidanteil im reformierten Gasgemisch verringert und gleichzeitig der Wasserstoffanteil erhöht wird. Zumindest ein Teil des im Gasgemisch enthaltenen Wassers kann als Prozesskondensat abgetrennt werden. Das bei der Kohlenstoffoxid-Konvertierung erhaltene Kohlendioxid wird – ebenso wie das bereits vorher in dem Gasgemisch vorhandene Kohlendioxid – aus dem reformierten Gasgemisch abgetrennt, typischerweise mit Hilfe eines Wäschers, etwa eines Gaswäschers mit einer alkalischen wässrigen Waschflüssigkeit oder einer neutralen wässrigen Waschflüssigkeit, gegebenenfalls auch mit alkalischen organischen Waschflüssigkeiten oder anderen geeigneten Waschflüssigkeiten. Dabei wird die Verfahrensführung bei der Kohlenstoffoxid-Konvertierung meist so gewählt, dass das Kohlenmonoxid möglichst vollständig (quantitativ) zu Kohlendioxid umgewandelt wird, und die Verfahrensführung beim Kohlendioxidabtrennen wird meist so gewählt, dass das Kohlendioxid möglichst vollständig aus dem reformierten Gasgemisch abgetrennt wird, wobei eine mit Kohlendioxid beladene Waschflüssigkeit erhalten wird (in dieser Waschflüssigkeit kann ebenfalls Wasser aus dem reformierten Gasgemisch enthalten sein, welches bei der Kohlendioxidabtrennung als Prozesskondensat anfällt, sofern dies nicht vorher separat abgetrennt wurde). Praktisch lässt sich allerdings nicht vermeiden, dass geringfügige Spuren an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid dennoch in den Ammoniaksynthesekreislauf gelangen, diese dürfen jedoch je nach Katalysatormaterial einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten, typischerweise von maximal 20 ppm

Sauerstoff aus sauerstoffenthaltenden Molekülen. Um den Anteil an Spuren von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid zu verringern, wird daher das vom Kohlendioxid befreite reformierte Gasgemisch zusätzlich einem Methanisieren in einem Methanisator (Methanisierungsvorrichtung, Methanisierung) unterzogen, in welcher das nicht aus dem reformierten Gasgemisch entfernte Kohlenmonoxid und Kohlendioxid mit Wasserstoff reagiert und zu Methan und Wasser umgewandelt wird. Das hierbei im reformierten Gasgemisch anfallende Wasser muss ebenfalls entfernt werden, was beispielsweise mittels Trocknen durch geeignete Adsorbtionsmittel (Molekularsiebe, Molsiebe) oder durch Auskondensieren erfolgen kann (etwa in einer Kälteanlage wie einer Ammoniakkälteanlage, wozu insbesondere auch ein im Ammoniaksynthesekreislauf angeordneter Ammoniakabscheider eingesetzt werden kann, sofern das reformierte Gasgemisch in den Ammoniaksynthesekreislauf derart eingespeist wird, dass das Synthesekreislaufgas nach dem Einspeisen zuerst den Ammoniakabscheider durchläuft, bevor es in den Konverter gelangt, also in Synthesekreislaufrichtung stromabwärts vom Konverter und stromaufwärts vom Ammoniakabscheider). Das beim Methanisieren erhaltene Methan verhält sich in der nachfolgenden Konvertierung im Ammoniaksynthesekreislauf als Inertgas und kann daher als Bestandteil des reformierten Gasgemisches in den Ammoniaksynthesekreislauf eingespeist werden.

In der Regel wird die mit Kohlendioxid beladene Waschflüssigkeit aufgearbeitet und vom Kohlendioxid befreit, sodass diese Waschflüssigkeit weiterverwendet werden kann. Das Kohlendioxid kann hierbei als Rohstoff für weitere Verfahren zur Verfügung gestellt werden, beispielsweise zum Karbonisieren von Getränken für die Getränkeindustrie (da die Herkunft des Gases eine extrem hohe Reinheit in Lebensmittelqualität bietet), sodass dieses Kohlendioxid letztendlich zwar in die Atmosphäre freigesetzt wird, die Freisetzung aber nicht unmittelbar erfolgt das Kohlendioxid jedoch vorher noch als Rohstoff verwendet wird (sodass dieses Kohlendioxid nicht anderweitig erzeugt werden muss). Nach seiner anderweitigen Verwendung würde dieses Kohlendioxid ohnehin freigesetzt werden, sodass dieses Verfahren dann also nicht in der Emission von zusätzlichem Kohlendioxid resultiert, sondern lediglich von Kohlendioxid, das ohnehin in die Atmosphäre freigesetzt würde. Um das abgetrennte Kohlendioxid als Rohstoff für weitere Verfahren zur Verfügung zu stellen, wird es üblicherweise einem Kohlendioxidleitungssystem (Pipeline) zugeführt. Darüber hinaus kann das Kohlendioxid

nach dem Abtrennen weiteren Prozessen unterzogen werden, beispielsweise einem Verdichten in einem Kompressor.

Vorteilhafterweise kann insbesondere zusätzlich vorgesehen sein, dass das aus dem reformierten Gasgemisch entfernte Kohlendioxid einem Kohlendioxidspeicher zugeführt wird. Dabei kann es sich um jegliches System handeln, welches zum temporären oder permanenten physikalischen oder chemischen Speichern von verdichtetem Kohlendioxid geeignet ist, beispielsweise um einen Speichertank oder auch um ein Speichersystem, in welchem die Kohlendioxid-Sequestrierung nach dem Konzept der „Carbon Capture and Storage“-Technik (CCS) realisiert ist, bei dem das gespeicherte Kohlendioxid unterirdisch gelagert wird. In letzterem CCS-Speichersystem wird zumindest ein Teil des ansonsten in die Atmosphäre freigesetzten Kohlendioxids gespeichert, weshalb auf diese Weise „blauer“ Ammoniak erzeugt werden kann.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere vorgesehen, dass zusätzlich das reformierte Gasgemisch vor dem Einspeisen in das Synthesekreislaufgas in zwei Teilströme aufgeteilt wird, von denen der eine Teilstrom in das Synthesekreislaufgas eingespeist wird und von denen der andere Teilstrom der befeuerten Brennvorrichtung zusätzlich zu dem ersten Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas als wasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt wird, wobei insbesondere das wasserstoffhaltige Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung aus dem ersten Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas und aus dem Teilstrom aus dem reformierten Gasgemisch besteht. Demzufolge wird also ein Teilstrom des reformierten Gasgemisches, welches eigentlich für die Einspeisung in den Ammoniaksynthesekreislauf vorgesehen ist, vor dem Einspeisen abgetrennt und zusätzlich zu dem Teilstrom, welcher aus dem Synthesekreislaufgas abgetrennt wird, dem Brenner zugeführt. Dies ist besonders dann vorteilhaft, wenn der zum Abführen der inerten Bestandteile des Synthesekreislaufgases abgeführte Teilstrom als Brenngas nicht ausreicht, um die befeuerte Brennvorrichtung ohne zusätzliches Brenngas zu betreiben. In diesem Fall kann die fehlende Brenngasmenge durch das reformierte Gasgemisch ergänzt werden, welches einen verhältnismäßig hohen Wasserstoffgehalt aufweist. Dadurch ist es weder erforderlich, zusätzliches Brenngas dem Ammoniaksynthesekreislauf zu entnehmen (wodurch zusätzlich auch eine gewisse Menge an Ammoniak entnommen würde), noch ist es erforderlich, zusätzliches Brenngas in Form von kohlenwasserstoffhaltigen Verbindungen zu verwenden. Auf diese Weise

kann die Ammoniakausbeute erhöht werden, ohne dass erhebliche Mengen an zusätzlichem Kohlendioxid in die Umwelt abgegeben werden.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere vorgesehen, dass zusätzlich das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas vor dem Einspeisen in den autothermen Reformier vorreformiert wird. Dies erfolgt typischerweise in einer Reaktion mit Dampf, welcher dem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas als dampfhaltiges Eduktgas in einem Vorreformer oder bereits vor dem Eintritt in den Vorreformer beigemischt wird. Das Vorreformieren ist ein Prozess, welcher dem eigentlichen autothermen Reformieren vorgelagert ist und in welchem höhere Kohlenwasserstoffbestandteile des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases, insbesondere langkettige Kohlenwasserstoffe und/oder zyklische Kohlenwasserstoffe darin, nach Zuführung von Dampf unter verhältnismäßig milden Bedingungen in Methan, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Wasserstoff umgewandelt werden, um die Ablagerung von Koks und kohleartigen Rückständen beim Vorwärmen des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases sowie beim Eintritt in den autothermen Reformier und beim Austritt aus dem autothermen Reformier zu vermeiden. Typischerweise gelangt dafür ein Katalysator zum Einsatz, beispielsweise ein Katalysator, welcher Nickel enthält. Dadurch wird nicht nur die Last des autothermen Reformiers verringert, es kann auch beim autothermen Reformieren das Verhältnis von Dampf zu Kohlenstoff verringert und die Temperatur beim Vorwärmen erhöht werden. Überdies erlaubt das Vorreformieren den Einsatz unterschiedlicher Rohstoffe aus unterschiedlichen Quellen.

Darüber hinaus kann das Verfahren zusätzlich zu den zuvor beschriebenen Ausgestaltungen natürlich auch die nachfolgend im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage beschriebenen Verfahrensmaßnahmen aufweisen, insbesondere auch insoweit sich diese aus der konstruktiven Ausgestaltung der Ammoniaksyntheseanlage ergeben.

Die zuvor genannte Aufgabe wird außerdem gelöst von einer Ammoniaksyntheseanlage, insbesondere zum Durchführen des zuvor genannten Verfahrens. Diese Ammoniaksyntheseanlage kann zusätzlich zu den nachfolgend beschriebenen konstruktiven Ausgestaltungen natürlich auch die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschriebenen konstruktiven Ausgestaltungen aufweisen, insbesondere auch insoweit sich diese aus dem Verfahren ergeben.

Dabei handelt es sich um eine Ammoniaksyntheseanlage mit einer Synthesegaserzeugungsvorrichtung zum Erzeugen eines reformierten Gasgemisches unter Einsatz von drei Eduktgasen, nämlich einem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas, einem luftbasierenden Eduktgas und einem dampfhaltigen Eduktgas, einem Ammoniaksynthesekreislauf zum Erzeugen von Ammoniak in einem in einer Synthesekreislaufrichtung geförderten Synthesekreislaufgas sowie einer Einspeisung zum Einspeisen des reformierten Gasgemisches in das Synthesekreislaufgas. Die Synthesegaserzeugungsvorrichtung und der Ammoniaksynthesekreislauf sind dabei strömungstechnisch über die Einspeisung verbunden. Die Synthesegaserzeugungsvorrichtung weist einen autothermen Reformier zum Erzeugen des reformierten Gasgemisches unter Einsatz der drei Eduktgase sowie einen Gaserhitzer zum Erhitzen von zumindest einem der drei Eduktgase vor dem Einspeisen in den autotherme Reformier auf. Der Gaserhitzer weist eine mit einem Brenngas betreibbare befeuerte Brennvorrichtung auf. Der Ammoniaksynthesekreislauf weist einen Konverter zum Erzeugen von Ammoniak im Synthesekreislaufgas sowie eine Auftrennung zum Auftrennen des Synthesekreislaufgases in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom auf. Die Auftrennung ist mit einer Ablassleitung zum Abführen des ersten Teilstroms verbunden. Erfindungsgemäß ist die Ablassleitung der Auftrennung strömungstechnisch mit der befeuerten Brennvorrichtung verbunden zum Zuführen des ersten Teilstroms als Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung.

Als Synthesegaserzeugungsvorrichtung wird ein Anlagenteil bezeichnet, in welchem ein Synthesegas erzeugt wird, also ein Gasgemisch, das für eine Synthese eingesetzt wird. Im vorliegenden Fall wird das Synthesegas für die Synthese von Ammoniak eingesetzt. Demzufolge wird in der Synthesegaserzeugungsvorrichtung also eine Gasmischung (das reformierte Gasgemisch) erzeugt, welche als Hauptkomponenten Stickstoff und Wasserstoff enthält. Wie zuvor beschrieben wird das reformierte Gasgemisch aus drei Eduktgasen erzeugt, dem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas, dem luftbasierenden Eduktgas und dem dampfhaltigen Eduktgas.

Das wesentliche funktionale Element der Synthesegaserzeugungsvorrichtung ist ein autothermer Reformier zum Erzeugen des reformierten Gasgemisches unter Einsatz der drei Eduktgase. Dieser autotherme Reformier kann grundsätzlich beliebig ausgebildet sein, beispielsweise als einstufiger oder mehrstufiger autothermer Reformier, in welchen die Einleitung der drei Eduktgase einzeln oder gemeinsam erfolgen kann, etwa über eine

einzelne Düse, beispielsweise in axialer Anordnung in einem Deckenabschnitt der Reformerwand, oder über mehrere Düsen, beispielsweise in einer radial-kreisförmigen Anordnung an der Reformerwand. Weiterhin weist die Synthesegaserzeugungsvorrichtung einen Gaserhitzer mit einer befeuerten Brennvorrichtung auf, die mit einem Brenngas betreibbar ist, also einem brennbaren Gas, welches als Ausgangsstoff von Verbrennungsreaktion geeignet ist. Mit Hilfe der befeuerten Brennvorrichtung des Gaserhitzers wird zumindest eines der drei Eduktgase vor dem Einspeisen in den autotherme Reformer erhitzt ohne dass die Brennerabgase in direkten Kontakt mit den Eduktgasen treten. Typischerweise befindet sich die befeuerte Brennvorrichtung innerhalb des Gaserhitzers und die Eduktgase werden einzeln oder beliebig miteinander vermischt räumlich von der befeuerten Brennvorrichtung getrennt an dieser vorbeigeführt, beispielsweise innerhalb von Rohren getrennt durch die Rohrwandung oder innerhalb eines separaten Raums getrennt durch Trennwände, beispielsweise Plattenwände. In der befeuerten Brennvorrichtung wird das Brenngas verbrannt und durch die dabei erzeugte Wärmeenergie das zumindest eine Eduktgas vorgewärmt. Darüber hinaus kann die Synthesegaserzeugungsvorrichtung natürlich weitere Elemente enthalten wie beispielsweise Rohrleitungen, Absperrerelement wie Ventile und Messvorrichtungen zur Überwachung des Prozessablaufs oder auch weitere funktionale Elemente wie beispielsweise eine dem autothermen Reformer vorgelagerte Hydrierung, eine dem autothermen Reformer vorgelagerte Schwefelabtrennung, eine dem autothermen Reformer nachgelagerte Kohlendioxidkonverter, eine Kohlendioxidabtrennung oder einen der Kohlendioxidabtrennung nachgelagerten Methanisator, eine Gastrocknung (etwa mit Hilfe von Molekularsieben) sowie Wärmetauscher und dergleichen.

Synthesegaserzeugungsvorrichtung und Ammoniaksynthesekreislauf sind strömungstechnisch miteinander über die Einspeisung verbunden. Als Einspeisung kann jede Vorrichtung dienen, die zum Einbringen eines Gases aus einem Anlagenteil (hier der Synthesegaserzeugungsvorrichtung) in einen anderen Anlagenteil (hier dem Ammoniaksynthesekreislauf) geeignet ist, beispielsweise ein Mischraum (der sich im Ammoniaksynthesekreislauf befindet und der gegebenenfalls Mischelemente zum Vermischen der zugeführten Gasströme aufweisen kann, wobei das Synthesekreislaufgas durch diesen hindurchströmen kann und dieser zusätzlich eine Einleitung des für das reformierte Gasgemisch aufweist) oder eine Dreiwegen-

Rohrverbindung, beispielsweise ein T-förmiges Verbindungsstück oder ein Y-förmiges Verbindungsstück. Die Einleitung kann darüber hinaus auch als Teil eines funktionalen Elements des Ammoniaksynthesekreislaufs ausgebildet sein, beispielsweise des Kompressors, des Konverters oder des Ammoniakabscheiders, sodass die Einleitung innerhalb dieses funktionalen Elements erfolgt.

Wie bereits beschrieben weist der Ammoniaksynthesekreislauf als wesentliches funktionales Element den Konverter auf, durch den das Synthesekreislaufgas im Synthesekreislaufrichtung zyklisch mit Hilfe eines Kompressors hindurchgeführt wird. Dieser kann beliebig ausgebildet sein, beispielsweise einstufig oder mehrstufig, etwa zweistufig, dreistufig oder vierstufig, wobei die unterschiedlichen Stufen in unterschiedlichen Gehäusen oder aber in demselben Gehäuse untergebracht sein können (die unterschiedlichen Stufen können strömungstechnisch hintereinander oder auch parallel miteinander verbunden sein), zwischen einzelnen Stufen können auch weitere Elemente wie beispielsweise Wärmetauscher zum Abführen von bei der Reaktion entstandener Wärmeenergie vorgesehen sein. Stromabwärts vom Kompressor (was in einem Kreislauf gleichzeitig stromaufwärts vom Kompressor bedeutet) weist der Ammoniaksynthesekreislauf einen Ammoniakabscheider auf, (typischerweise unter Verwendung einer Kälteanlage, beispielsweise einer Ammoniakkälteanlage). Neben der Einspeisung, der Fördervorrichtung, dem Konverter und dem Ammoniakabscheider kann der Ammoniaksynthesekreislauf weitere funktionale Elemente aufweisen, etwa Kühlvorrichtungen zum Abkühlen des Gasgemischs, nachdem es infolge der bei der Reaktion anfallenden Wärmetönung erhitzt wurde (insbesondere Kühler, Abhitzedampferzeuger oder Dampfüberhitzer), Heizvorrichtungen, um das Gasgemisch stromaufwärts vom Konverter auf eine Temperatur zu erwärmen, die erforderlich ist, um im Konverter die Umsetzung der Edukte zum Produkt Ammoniak zu gewährleisten (insbesondere elektrische Heizvorrichtungen) und/oder kombinierte Heiz-/Kühlvorrichtungen, um überschüssige Wärmeenergie des Gasgemischs nach Austritt aus dem Konverter dafür zu nutzen, das Gasgemisch vor Eintritt in den Konverter zu erwärmen (insbesondere Gas-Gas-Wärmetauscher). Darüber hinaus weist der Ammoniaksynthesekreislauf eine Auftrennung zum Auftrennen des Synthesekreislaufgases in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom auf. Die Auftrennung kann beliebig ausgeführt sein, wobei der erste Teilstrom und der zweite Teilstrom voneinander weggeleitet werden. Die Auftrennung kann beispielsweise als eine

separate Auftrennkammer ausgeführt sein, gegebenenfalls mit Strömungsleitelementen zum Umlenken des Gasstroms in die jeweils gewünschte Richtung, oder auch als Dreizeige-Rohrverbindung, beispielsweise ein T-förmiges Verbindungsstück oder ein Y-förmiges Verbindungsstück. Die Auftrennung kann darüber hinaus als Teil eines anderen funktionellen Elements ausgelegt sein, beispielsweise des Kompressors, des Konverters oder des Ammoniakabscheiders. Die Auftrennung ist mit einer Ablassleitung zum Abführen des ersten Teilstroms verbunden (oder geht in diese über). Erfindungsgemäß ist die Ablassleitung der Auftrennung strömungstechnisch mit der befeuerten Brennvorrichtung verbunden, wodurch der erste Teilstrom als Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung zuführbar ist.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage ist insbesondere vorgesehen, dass die Synthesegaserzeugungsvorrichtung ferner zumindest drei Eduktgaszuführungen aufweist, nämlich eine Kohlenwasserstoffzuführung zum Bereitstellen des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases, eine Oxidationsmittelzuführung zum Bereitstellen des luftbasierenden Eduktgases und eine Dampfzuführung zum Bereitstellen des dampfhaltigen Eduktgases, wobei der Gaserhitzer strömungstechnisch zwischen mindestens einer Eduktgaszuführung und dem autothermen Reformier angeordnet ist, wobei die befeuerte Brennvorrichtung eine Brenngasleitung zum Zuführen des ersten Teilstroms als wasserstoffhaltiges Brenngas aufweist, die strömungstechnisch mit der Ablassleitung verbunden ist, wobei der Ammoniaksynthesekreislauf einen Kompressor zum Fördern des Synthesekreislaufgases in der Synthesekreislaufanordnung und einen Ammoniakabscheider zum Entfernen von Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas aufweist, wobei die Auftrennung zusätzlich zu der Ablassleitung mit einer Rückführleitung zum Rückführen des zweiten Teilstroms zur Einspeisung verbunden ist. Die Eduktgase werden also der Synthesegaserzeugungsvorrichtung durch mindestens drei Eduktgaszuführungen bereitgestellt, darüber hinaus können auch weitere Eduktgaszuführungen vorgesehen sein. Beispielsweise ist es möglich, das jeweilige Eduktgas über mehrere Eduktgaszuführungen zuzuführen, beispielsweise kann das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas über mehr als eine Zuführung zugeführt werden, wobei über die unterschiedlichen Zuführungen dasselbe kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas oder ein anderes kohlenwasserstoffhaltiges Eduktgas zugeführt werden kann, sodass die Möglichkeit besteht, unterschiedliche kohlenwasserstoffhaltige Eduktgase

zuzuführen; vergleichbares gilt auch für die Oxidationsmittelzuführung und die Dampfzuführung. Dabei können die Eduktgase der Synthesegaserzeugungsvorrichtung separat oder miteinander vermischt zugeführt werden, indem beispielsweise die Eduktgaszuführung für das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas und das dampfhaltige Eduktgas oder für das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas und das luftbasierende Eduktgas oder für das luftbasierende Eduktgas und das dampfhaltige Eduktgas oder für alle drei Eduktgase in eine gemeinsame Rohrleitung münden, bevor diese dem Gaserhitzer oder dem autothermen Reformer zugeführt werden (oder auch dem Vorreformer); typischerweise wird das luftbasierte Eduktgas dem autothermen Reformer alleine zugeführt und insbesondere weder mit dem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas vermischt noch mit dem vorreformierten Gasgemisch vermischt, um in den Rohrleitungen keine explosionsfähigen Gasmischungen zu transportieren.

Mit Hilfe des Gaserhitzers lassen sich die Eduktgase der jeweiligen Zuführung erhitzen, wobei zumindest eines der zugeführten Eduktgase erhitzt wird, gegebenenfalls zwei Eduktgase oder alle drei Eduktgase. Werden in den Gaserhitzer mehr Eduktgase als ein Eduktgas erhitzt, so können diese miteinander vermischt oder aber separat erhitzt werden, beispielsweise jeweils in eigenen Rohrleitungen. Die befeuerte Brennvorrichtung des Gaserhitzers ist typischerweise als Gasbrenner ausgeführt, beispielsweise als Wasserstoffbrenner oder kombinierter Wasserstoff-Methan-Brenner, und weist eine Brenngasleitung auf, über welche das Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung als Brennstoff zugeführt wird. Diese Brenngasleitung ist strömungstechnisch mit der Ablassleitung verbunden, sodass die Ablassleitung direkt oder indirekt in die Brenngasleitung übergeht oder – in einer besonders kompakten Anordnung – mit dieser identisch ist. In der Brenngasleitung kann das für den Verbrennungsvorgang erforderliche Oxidationsmittel dem Brenngas beigemischt sein, dieses kann aber auch separat in die befeuerte Brennvorrichtung geführt werden. Neben dem Kompressor, welcher beliebig geeignet ausgestaltet sein kann, etwa als Turbokompressor (Turboverdichter), und dem Ammoniakabscheider, welcher ebenfalls beliebig geeignet ausgestaltet sein kann, etwa als Kälteanlage, typischerweise als Ammoniakkälteanlage, weist der Ammoniaksynthesekreislauf hier eine Rückführleitung auf. In der Rückführleitung wird der zweite Teilstrom des Synthesekreislaufgases, welcher in der Auftrennung vom ersten Teilstrom abgetrennt wurde, zur Einspeisung (oder zu einer Position stromaufwärts vom Konverter) zurückgeführt - und damit zum

Konverter, wodurch die eigentliche Kreislaufführung des Synthesekreislaufgases möglich wird. Durch das Rückführen des zweiten Teilstroms zum Einspeisen des reformierten Gasgemisches wird ein Teil des Synthesekreislaufgases stromabwärts vom Konverter wieder zum Eingang des Konverters zurückgeleitet und durchläuft erneut eine Konvertierung. Infolge des Abtrennens vom Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas vor dem erneuten Eintreten in den Konverter wird eine Zusammensetzung erhalten, welche nicht der Gleichgewichtszusammensetzung bei dem jeweiligen Druck und der jeweiligen Temperatur entspricht, sodass beim erneuten Durchlaufen des Konverters eine entsprechende Menge an Ammoniak gebildet wird, wodurch die Ammoniakausbeute insgesamt erhöht wird; diese Ausgestaltung ist insbesondere im Rahmen eines Haber-Bosch-Verfahrens von Vorteil.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage ist insbesondere vorgesehen, dass ferner die Auftrennung in Synthesekreislaufaufrichtung stromabwärts des Konverters und stromaufwärts der Einspeisung angeordnet ist. Infolge dieser Ausgestaltung wird sichergestellt, dass das in den Ammoniaksynthesekreislauf eingeleitete reformierte Gasgemisch vor dem Abtrennen zunächst den Konverter durchläuft (anstatt dass ein Anteil des zugeführten Edukts bereits vor der Konvertierung wieder aus dem Ammoniaksynthesekreislauf herausgeleitet wird), sodass dieses Edukt für die Reaktion zum Ammoniak weiterhin zur Verfügung steht (welcher dann auch aus dem ersten Teilstrom abgetrennt werden kann, beispielsweise in einer Membranabtrennung). Dadurch wird die Ausbeute an Ammoniak erhöht.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage ist insbesondere vorgesehen, dass ferner die Synthesegaserzeugungsvorrichtung eine Luftzerlegung zum Bereitstellen von mit Sauerstoff angereicherter Luft als luftbasierendes Eduktgas aufweist. Wie bereits dargelegt, besteht dadurch das benötigte Oxidationsmittel nicht vollständig aus reinem Sauerstoff, der gereinigte Sauerstoff stellt vielmehr bloß einen Teil des gesamten Oxidationsmittels dar. Dadurch kann die Kapazität einer Anlage zum Bereitstellen von reinem Sauerstoff, beispielsweise einer Luftzerlegung, gegenüber der Kapazität herkömmlicher Anlagen verringert werden.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage ist insbesondere vorgesehen, dass ferner die Synthesegaserzeugungsanlage zwischen dem autothermen Reformer und der Einspeisung einen Kohlenstoffoxid-Konverter zum Umwandeln des Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid, eine Kohlendioxidabtrennung zum Entfernen von Kohlendioxid aus dem reformierten Gasgemisch und einen Methanisator zum Umwandeln von Kohlenstoffoxiden (also Kohlenmonoxid und Kohlendioxid sowie gegebenenfalls Kohlenstoffsuboxide) im reformierten Gasgemisch in Methan aufweist, wobei der Kohlenstoffoxid-Konverter strömungstechnisch mit dem autothermen Reformer und der Kohlendioxidabtrennung verbunden ist, die Kohlendioxidabtrennung strömungstechnisch mit dem Kohlenstoffoxid-Konverter und dem Methanisator verbunden ist und der Methanisator strömungstechnisch mit der Kohlendioxidabtrennung und der Einspeisung verbunden ist. Wie bereits dargelegt, ist es auf diese Weise möglich, die Verfahrensführung insbesondere an die Erfordernisse eines Haber-Bosch-Prozesses anzupassen, bei welchem Sauerstoffbestandteile zur Deaktivierung des Katalysators führen können. Dabei kann vorteilhafterweise insbesondere zusätzlich vorgesehen sein, dass die Kohlendioxidabtrennung strömungstechnisch mit dem Kohlendioxidspeicher zum Speichern des aus dem reformierten Gasgemisch entfernten Kohlendioxids verbunden ist. Bei dem Kohlendioxidspeicher kann es sich um eine beliebige geeignete Vorrichtung oder Anordnung handeln, beispielsweise einen Speichertank, eine Rohrleitung, über welche das Kohlendioxid einer anderen Verwendung zugeführt wird, oder auch um ein CCS-Speichersystem, bei welchem das gespeicherte Kohlendioxid etwa unter Tage gelagert werden kann. Dadurch ist es möglich, „blauen“ Ammoniak zu erzeugen.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage ist insbesondere vorgesehen, dass ferner die Synthesegaserzeugungsanlage in Förderrichtung des reformierten Gasgemisches stromabwärts des autothermen Reformers und stromaufwärts der Einspeisung eine Aufteilung zum Aufteilen des reformierten Gasgemisches in zwei Teilströme aufweist, wobei die Aufteilung eine Leitung zum Einspeisen des einen Teilstroms des reformierten Gasgemisches in das Synthesekreislaufgas, die strömungstechnisch mit der Einleitung verbunden ist, und eine Abzweigleitung zum Zuführen des anderen Teilstroms des reformierten Gasgemisches zusätzlich zu dem ersten Teilstrom aus dem

Synthesekreislaufgas als Brenngas zu der befeuerten Brennvorrichtung aufweist, wobei die Abzwegleitung strömungstechnisch mit der befeuerten Brennvorrichtung verbunden ist. Eine derartige Aufteilung kann grundsätzlich ähnlich wie die Auftrennung zum Auftrennen des Synthesekreislaufgases in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom ausgebildet sein oder von dieser verschieden. Reicht die Menge an Synthesekreislaufgas, welches über die Ablassleitung dem Ammoniaksynthesekreislauf als erster Teilstrom entnommen wird, nicht aus, um die befeuerte Brennvorrichtung zu betreiben, muss zusätzliches Brenngas zur Verfügung gestellt werden; dies geschieht üblicherweise, indem der befeuerten Brennvorrichtung zusätzlich ein kohlenwasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt wird, um die fehlende Menge an Brenngas zu ersetzen. Wie bereits dargelegt, bietet eine Entnahme von reformiertem Gasgemisch zum Ersetzen der fehlenden Menge an Brenngas den Vorteil, dass die Menge an Gas verringert werden kann, welches über die Ablassleitung dem Ammoniaksynthesekreislauf entnommen wird, ohne dass dabei signifikant mehr Kohlendioxid in die Atmosphäre freigesetzt wird, da auch der aus dem reformierten Gasgemisch als zusätzliches Brenngas abgezweigte Teilstrom als eine Hauptkomponente Wasserstoff enthält.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage ist insbesondere vorgesehen, dass ferner die Synthesegaserzeugungsvorrichtung in Förderrichtung des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases stromaufwärts vor dem autothermen Reformier einen Vorreformer zum Vorreformieren des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases aufweist, der strömungstechnisch mit dem autothermen Reformier verbunden ist. Beim Vorreformieren werden höhere Kohlenwasserstoffbestandteile des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases, insbesondere langkettige Kohlenwasserstoffe, unter verhältnismäßig milden Bedingungen in Methan, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Wasserstoff umgewandelt. Wie bereits zuvor dargelegt, lassen sich dadurch unterschiedliche Rohstoffe aus verschiedenen Quellen einsetzen, eine Koksbildung in der Synthesegaserzeugungsvorrichtung wird verhindert und die Last des autothermen Reformiers wird verringert, überdies kann das Verhältnis von Dampf zu Kohlenstoff beim autothermen Reformieren verringert und die Temperatur beim Vorwärmen erhöht werden.

Schließlich wird die zuvor genannte Aufgabe gelöst von einem Verfahren zum Umrüsten einer Ammoniaksyntheseanlage. Dieses Umrüstverfahren kann zusätzlich zu den

nachfolgend beschriebenen Verfahrensmaßnahmen natürlich auch die zuvor beschriebenen Verfahrensmaßnahmen und konstruktiven Ausgestaltungen aufweisen.

Bei dem Verfahren zum Umrüsten einer Ammoniaksyntheseanlage mit einer Synthesegaserzeugungsvorrichtung zum Erzeugen eines reformierten Gasgemisches unter Einsatz von drei Eduktgasen, nämlich einem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas, einem luftbasierenden Eduktgas und einem dampfhaltigen Eduktgas, einem Ammoniaksynthesekreislauf zum Erzeugen von Ammoniak in einem in einer Synthesekreislaufriechtung geförderten Synthesekreislaufgas, sowie mit einer Einspeisung zum Einspeisen des reformierten Gasgemisches in das Synthesekreislaufgas, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung und der Ammoniaksynthesekreislauf strömungstechnisch über die Einspeisung verbunden sind, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung einen autothermen Reformer zum Erzeugen des reformierten Gasgemisches unter Einsatz der drei Eduktgase sowie einen Gaserhitzer mit einer befeuerten Brennvorrichtung zum Erhitzen von zumindest einem der drei Eduktgase vor dem Einspeisen in den autotherme Reformer aufweist, wobei der Ammoniaksynthesekreislauf einen Konverter zum Erzeugen von Ammoniak im Synthesekreislaufgas aufweist, wird eine Ablassleitung eingebaut, die den Ammoniaksynthesekreislauf mit der befeuerten Brennvorrichtung zum Zuführen eines abgeführten Teilstroms als wasserstoffhaltiges Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung verbindet. Dem Einbau einer solchen Ablassleitung gleichzusetzen ist es, eine bestehende Ablassleitung, wie sie etwa zum Herausführen von Ablassgas (purge gas) aus dem Synthesekreislaufgas Verwendung findet, mit der befeuerten Brennvorrichtung zu verbinden, insbesondere mit der Brenngasleitung der befeuerten Brennvorrichtung. Auf diese Weise kann auf besonders einfache Art und Weise eine die Kohlendioxidemission einer bereits bestehenden Ammoniaksyntheseanlage verringert werden.

Im Einzelnen gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, die erfindungsgemäßen Verfahren und die erfindungsgemäße Anlage auszugestalten und weiterzubilden. Dazu wird verwiesen sowohl auf die den Patentansprüchen 1 und 8 nachgeordneten Patentansprüche, als auch auf die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit den Zeichnungen, mit Hilfe welcher die Erfindung nachfolgend näher erläutert wird. Es zeigen jeweils schematisch

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer herkömmlichen Ammoniaksyntheseanlage,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage,

5 Fig. 3 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage,

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage,

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer vierten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage und

10 Fig. 6 eine schematische Darstellung einer fünften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Ammoniaksyntheseanlage aus dem Stand der Technik. Die Anlage weist eine Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1 als Frontend und einen Ammoniaksynthesekreislauf 3 als Backend auf, beide sind über die
15 Einspeisung 2 miteinander verbunden. In der Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1 existieren hier drei Zuführungen für die Eduktgase, nämlich die Kohlenwasserstoffzuführung 4 für das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas, die Dampfzuführung 7 für das dampfhaltige Eduktgas und die Oxidationsmittelzuführung 8 für das luftbasierende Eduktgas. Von der Kohlenwasserstoffzuführung 4 geht eine
20 Rohrleitung ab, die über ein T-förmiges Verbindungsstück mit einer Rohrleitung verbunden ist, welche von der Dampfzuführung 7 abgeht, sodass das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas und das dampfhaltige Eduktgas dort miteinander vermischt werden, wobei ein kohlenwasserstoffhaltiges dampfhaltiges Gasgemisch erhalten wird. Das T-förmige Verbindungsstück ist mit dem Vorreformer 13
25 strömungstechnisch verbunden, in welchem das kohlenwasserstoffhaltige dampfhaltige Gasgemisch vorreformiert wird. Der Ausgang des Vorreformers 13 ist strömungstechnisch mit dem Gaserhitzer 5 verbunden, in welchem das vorreformierte Gasgemisch vorgewärmt wird. Dazu weist der Gaserhitzer 5 eine befeuerte Brennvorrichtung 5.1 mit einem Kohlenwasserstoffbrenner auf, dem über die
30 Brenngasleitung 5.2 Erdgas als kohlenwasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt wird; das

Erdgas, welches der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 zugeführt wird, ist bereits mit Luft als Oxidationsmittel vermischt. Der Gaserhitzer 5 ist strömungstechnisch mit dem autothermen Reformier 6 verbunden. Darüber hinaus ist der autotherme Reformier 6 mit der Oxidationsmittelzuführung 8 verbunden, über welche das luftbasierende Eduktgas dem autothermen Reformier 6 zugeführt wird. Das luftbasierende Eduktgas ist in diesem Fall mit Sauerstoff angereicherte Luft, nämlich Luft, die mit reinem Sauerstoff versetzt wird, welcher aus der mit der Oxidationsmittelzuführung 8 strömungstechnisch verbundenen Luftzerlegung 18 erhalten wird. Im autothermen Reformier 6 werden die drei Eduktgase in einer autothermen Reaktionsführung reformiert. Das so erhaltene reformierte Gasgemisch wird in den Kohlenstoffoxid-Konverter 9 eingeleitet, welcher strömungstechnisch mit dem autothermen Reformier 6 verbunden ist. Nach Durchlaufen einer Wassergas-Shift-Reaktion im Kohlenstoffoxid-Konverter 9 wird das konvertierte reformierte Gasgemisch in die Kohlendioxidabtrennung 10 geführt, welche strömungstechnisch mit dem Kohlenstoffoxid-Konverter 9 verbunden ist. In der Kohlendioxidabtrennung 10 wird Kohlendioxid mittels Gaswäsche abgetrennt und in einen Kohlendioxidspeicher 12 weitergeleitet, der mit der Kohlendioxidabtrennung 10 verbunden ist. Das von Kohlendioxid befreite konvertierte reformierte Gasgemisch wird in den Methanisator 11 eingeleitet, wo darin vorhandene Spuren an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid in Methan umgewandelt werden. Der Methanisator 11 ist prozesstechnisch zwischen der Kohlendioxidabtrennung 10 und der Einspeisung 2 angeordnet, mit welchen er jeweils strömungstechnisch verbunden ist.

Über die Einspeisung 2 wird das in der Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1 erhaltene reformierte Gasgemisch (welches im vorliegenden Fall das methanisierte von Kohlendioxid befreite konvertierte reformierte Gasgemisch darstellt) als Frischgas dem Synthesekreislaufgas zugeführt, indem es in die Rückführleitung 17 des Ammoniaksynthesekreislaufs 3 an einer Position eingespeist wird, welche sich stromabwärts vom Ammoniakabscheider und stromaufwärts vom Kompressor 19 befindet. Das dadurch erhaltene mit Frischgas ergänzte Synthesekreislaufgas wird innerhalb des Kreislaufs in Synthesekreislaufrichtung d gefördert und erreicht den Kompressor 19, welcher strömungstechnisch mit der Einspeisung 2 verbunden ist. Im Kompressor wird das Synthesekreislaufgas komprimiert und zum Konverter 14 gefördert, der stromabwärts vom Kompressor 19 gelegen ist und strömungstechnisch mit dem Kompressor 19 verbunden ist. Im Konverter 14 erfolgt die Reaktion des

Synthesekreislaufgases zu einem Synthesekreislaufgas, in welchem die Ammoniakkonzentration im Idealfall der Gleichgewichtskonzentration an Ammoniak entspricht (je nach Aktivität des konkret eingesetzten Katalysators kann die Ammoniakkonzentration auch von der Gleichgewichtskonzentration an Ammoniak abweichen). Der Ausgang des Konverters 14 ist mit der Auftrennung 15 strömungstechnisch verbunden, in welcher der Synthesekreislaufgasstrom in zwei Teilströme aufgetrennt wird, einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom. Der hierbei erhaltene (mengenmäßig größere) zweite Teilstrom wird über die Rückführleitung 17 dem Synthesekreislauf erneut zugeführt während der erste Teilstrom als Ablassgas (Purgegas) in die Ablassleitung 16 eingespeist und über diese Rohrleitung aus dem Ammoniaksynthesekreislauf 3 herausgeführt wird. Der erste Teilstrom kann in der Ablassleitung 16 zunächst einer (nicht dargestellten) Ammoniakabtrennung, welche etwa auf fraktionierter Kondensation (kryogen) oder auf Membrantechnologie beruhen kann, und/oder einer (nicht dargestellten) Wasserstoffabtrennung zugeführt werden, welche etwa auf Membrantechnologie beruhen kann; dadurch sind im ersten Teilstrom enthaltene Anteile an Ammoniak als Produkt nutzbar beziehungsweise können im ersten Teilstrom enthaltene Anteile an Wasserstoff dem Synthesekreislauf erneut zugeführt werden. Das verbleibende Ablassgas wird anschließend in einer (nicht dargestellten) Fackel verbrannt und die so erhaltenen Verbrennungsabgase des ersten Teilstroms in die Atmosphäre entlassen. Die Auftrennung 15 ist strömungstechnisch mit dem Ammoniakabscheider 20 verbunden, in welchen der zweite Teilstrom über die Rückführleitung 17 geleitet wird. Im Ammoniakabscheider 20 wird das Synthesekreislaufgas abgekühlt, sodass Ammoniak in flüssiger Form anfällt und vom Synthesekreislaufgas abgetrennt werden kann und dadurch als Produkt zur Verfügung steht. Das verbleibende Synthesekreislaufgas wird vom Ammoniakabscheider 20 über die Rückführleitung 17 erneut der Einspeisung 2 kreislaufartig zugeführt.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer ersten Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage, anhand welcher insbesondere auch die Durchführung einer ersten Ausgestaltung des Verfahrens zur Herstellung von Ammoniak verdeutlicht wird. Die erste Ausgestaltung unterscheidet sich von der in Fig. 1 dargestellten herkömmlichen Anlage vor allem dadurch, dass in der in Fig. 2 dargestellten Ammoniaksyntheseanlage 1 der in der Auftrennung 15 vom Synthesekreislaufgas abgetrennte erste Teilstrom über Ablassleitung 16 nicht aus der

Ammoniaksyntheseanlage heraus geleitet wird, sondern vielmehr der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 als wasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt wird. Darüber hinaus werden in der in Fig. 2 dargestellten ersten Ausgestaltung das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas und das dampfhaltige Eduktgas erst im Vorreformer 13 miteinander vermischt und nicht bereits vor dem Eintritt in den Vorreformer 13. Von diesen Unterschieden abgesehen sind die Elemente der in Fig. 2 dargestellten ersten Ausgestaltung im Wesentlichen identisch zu der in Fig. 1 dargestellten herkömmlichen Ammoniaksyntheseanlage (identische Bezugszeichen beschreiben jeweils entsprechende Komponenten).

Auch die in Fig. 2 dargestellte Anlage weist eine Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1 als Frontend und einen Ammoniaksynthesekreislauf 3 als Backend auf, welche über die Einspeisung 2 miteinander verbunden sind. Die Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1 weist hier drei Zuführungen für die Eduktgase auf - die Kohlenwasserstoffzuführung 4, die Dampfungzuführung 7 und die Oxidationsmittelzuführung 8. Diese drei Eduktgaszuführungen stellen die Eduktgase bereit, nämlich das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas, das luftbasierende Eduktgas und das dampfhaltige Eduktgas. Über die Kohlenwasserstoffzuführung 4 wird das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas bereitgestellt. Diese ist strömungstechnisch mit dem Vorreformer 13 verbunden, sodass das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas in den Vorreformer 13 eingeleitet wird. Ebenfalls ist die Dampfungzuführung 7, über welche das dampfhaltige Eduktgas bereitgestellt wird, strömungstechnisch mit dem Vorreformer 13 verbunden, sodass das dampfhaltige Eduktgas in den Vorreformer 13 eingeleitet wird. Als dampfhaltiges Eduktgas wird Wasserdampf verwendet, welcher hier von einem Dampferzeuger bereitgestellt wird; dieser kann jedoch auch in beliebigen anderen Vorrichtungen erzeugt werden. Im Vorreformer 13 wird unter relativ milden Reformierungsbedingungen beim Vorreformieren zumindest ein Teil der langkettigen Kohlenwasserstoffe des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases in Methan umgewandelt. Dabei kann auch das kohlenstoffwasserhaltige Eduktgas vor dem Einleiten in den Vorreformer 13 einer vorherigen Aufbereitung zugeführt werden, beispielsweise einer Hydrierung und/oder einer Entschwefelung und/oder einem Vorwärmen in einem Wärmetauscher.

Das vorreformierte Gasgemisch, welches dann hauptsächlich Methan als Kohlenwasserstoff enthält, wird in den Gaserhitzer 5 eingeleitet. Den Gaserhitzer durchströmt das vorreformierte Gasgemisch im vorliegenden Fall durch ein Rohr, dessen

Außenseite über die befeuerte Brennvorrichtung 5.1 erhitzt wird, wobei ein vorerwärmtes vorreformiertes Gasgemisch erhalten wird. Anstelle eines Rohres ist auch jede andere Geometrie möglich, beispielsweise eine Hohlplatte, solange sichergestellt ist, dass das Gasgemisch nicht direkt mit der Brennerflamme in Kontakt kommt.

5 Zusätzlich können auch andere Eduktgasströme durch den Gaserhitzer 5 vorgewärmt werden, indem diese über Rohre, Hohlplatten oder dergleichen ebenfalls durch den Gaserhitzer hindurchgeführt werden, beispielsweise das luftbasierende Eduktgas; die zu erwärmenden Eduktgasströme können dabei einzeln oder auch miteinander vermischt durch den Gaserhitzer 5 hindurchgeleitet und dabei erwärmt werden (wobei aus Gründen
10 des Explosionsschutzes typischerweise davon Abstand genommen wird, das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas oder das vorreformierte Gasgemisch mit dem luftbasierenden Eduktgas vermischt durch Rohleitungen zu leiten). Bei der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 handelt es sich im vorliegenden Fall um einen Wasserstoffbrenner, dem über die Brenngasleitung 5.2 ein wasserstoffhaltiges Brenngas
15 zugeführt wird (dieses ist mit einem Oxidationsmittel vermischt, im vorliegenden Fall mit Luft, wobei das Oxidationsmittel und das Brenngas dem Brenner auch separat zugeführt werden können und dann erst in der Brenndüse miteinander in Kontakt treten). Im vorliegenden Fall handelt sich bei dem Brenngas um den in der Auftrennung 15 abgezweigten ersten Teilstrom des Synthesekreislaufgases, welcher als Ablassgas
20 (Purgegas) über die Ablassleitung 16 aus dem Ammoniaksynthesekreislauf 3 herausgeleitet und der Brenngasleitung 5.2 zugeführt wird (im vorliegenden Fall geht die Ablassleitung 16 in die Brenngasleitung 5.2 über, sodass beide Leitungen miteinander strömungstechnisch verbunden sind; beide Leitungen können jedoch auch identisch sein, sodass die Ablassleitung 16 selber die Brenngasleitung 5.2 bildet.). Die zum Vorwärmen
25 des vorreformierten Gasgemischs benötigte Wärmeenergie wird durch Verbrennung des Brenngases erzeugt, welches als Brennstoff überwiegend Wasserstoff und lediglich Spuren an Methan enthält.

Das vorerwärmte vorreformierte Gasgemisch wird ebenso wie das luftbasierende Eduktgas aus der Oxidationsmittelzuführung 8 direkt in den autothermen Reformier 6
30 eingeleitet. Als luftbasierendes Eduktgas wird Luft eingesetzt, welche in einer (nicht dargestellten) Mischvorrichtung mit reinem Sauerstoff versetzt und damit angereichert wurde. Der dafür benötigte reine Sauerstoff wurde aus Luft in einer Luftzerlegung 18 extrahiert, die der Oxidationsmittelzuführung 8 vorgeschaltet und somit mit dieser

Strömung technisch verbunden ist. Die dem autothermen Reformer 6 zugeführten Gase werden hier erst in Düsen im autothermen Reformer 6 miteinander vermischt und das so erhaltene Gasgemisch über eine Vielzahl von Düsen in den Innenraum des autothermen Reformers 6 eingeleitet, in diesem Fall über mehrere Düsen, welche radial-kreisförmig an der Reformerwand angeordnet sind. Stattdessen ist auch eine Einleitung der Gase ohne vorheriges Mischen über separate Düsen in den autothermen Reformer 6 möglich. Ebenso kann die Düsenanordnung von dieser Anordnung abweichen, beispielsweise ist es möglich, die einzelnen Gase oder das Gasgemisch über eine Düse in den autothermen Reformer 6 einzuleiten, die mittig in einem Deckenabschnitt des autothermen Reformers 6 angeordnet ist.

Das hierbei erhaltene reformierte Gasgemisch, welches neben Wasserstoff, Stickstoff, Wasser, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Argon auch geringe Mengen an Sauerstoff und Methan enthält, wird aus dem autothermen Reformer 6 herausgeleitet und der Kohlenstoffoxid-Konvertierung 9 zugeführt. In dieser wird das reformierte Gasgemisch einer katalytischen Wassergas-Shift-Reaktion unterzogen, wobei dessen Gehalt an Kohlenmonoxid und Wasser abnimmt und dessen Gehalt an Kohlendioxid und Wasserstoff entsprechend zunimmt. Das so erhaltene kohlendioxidangereicherte Gasgemisch wird in die Kohlendioxidabtrennung 10 eingeleitet. Die Kohlendioxidabtrennung 10 enthält eine Gaswäsche, in welcher das kohlendioxidangereicherte Gasgemisch mit einem Strom einer alkalischen Waschflüssigkeit in Kontakt gebracht wird, welche dabei das Kohlendioxid aufnimmt und aus dem Gasgemisch entfernt, sodass ein kohlendioxidarmes Gasgemisch erhalten wird. Gleichzeitig wird beim Kontakt mit der Waschflüssigkeit ein Teil des Wasserdampfes abgekühlt, welcher als Nebenprodukt im kohlendioxidangereicherten Gasgemisch enthalten ist, wobei dieser als Prozesskondensat auskondensiert und ebenfalls vom Gasgemisch abgetrennt werden kann. Die so erhaltene mit Kohlendioxid beladene Waschflüssigkeit wird aus dem Gaswäsche herausgeleitet und aufgearbeitet, wobei das Kohlendioxid in gasförmiger Form gewonnen wird. Das Kohlendioxid wird komprimiert und einem Kohlendioxidspeichern 12 zugeführt, wo es im Rahmen einer CCS-Speicherung unterirdisch in tiefen Sedimentschichten in überkritischem Zustand komprimiert oder in Form von Carbonaten oder in Kohleflözen an Kohle sorbiert gespeichert wird. Stattdessen kann das Kohlendioxid auch über ein Rohrleitungssystem einer weiteren Verwendung zugeführt werden, beispielsweise als Zusatz für karbonisierte

Getränke in der Lebensmittelindustrie; darüber hinaus ist auch jede andere Form der Speicherung von Kohlendioxid möglich, mit welcher sichergestellt ist, dass zumindest der Großteil des das so gespeicherten Kohlendioxids nicht (oder zumindest erst nach langer Zeit) in die Atmosphäre gelangt.

5 Das bei der Gaswäsche erhaltene von Kohlendioxid befreite reformierte Gasgemisch weist noch immer geringe Mengen an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid auf. Daher wird es in einen Methanisator 11 eingeleitet, in welchem die Kohlenstoffoxide zu Methan reduziert werden; für die Reaktion im Methanisator 11 wird ein geringer Teil des Wasserstoffs aus dem reformierten Gasgemisch als Reduktionsmittel eingesetzt. Das so
10 erhaltene Gasgemisch enthält neben Wasserstoff und Stickstoff nur noch geringe Mengen an Argon, Methan sowie allenfalls Spuren an Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Sauerstoff und wird in die Einspeisung 2 weitergeleitet, bei welcher es sich vorliegend um ein T-förmiges Rohrstück handelt, über welches das aus der Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1 stammende (aufgearbeitete) reformierte
15 Gasgemisch direkt in das Synthesekreislaufgas eingeleitet wird, welches im Ammoniaksynthesekreislauf 3 zirkuliert. Statt einem T-förmigen Rohrstück sind auch alle anderen geeigneten Verbindungen möglich, zum Beispiel ein Y-förmiges Rohrstück oder eine Mischkammer, beispielsweise einem Hohlraum mit inneren Umlenkblechen, in welchem die beiden Gasströme aufeinandertreffen, mithilfe der Umlenkbleche verwirbelt
20 und dadurch miteinander vermischt werden.

Die Einspeisung des reformierten Gasgemischs in den Ammoniaksynthesekreislauf 3 erfolgt in die Rückführleitung 17 an einer Position, welche sich in Synthesekreislaufrichtung d stromabwärts vom Ammoniakabscheider 20 und stromaufwärts vom Kompressor befindet. Das reformierte Gasgemisch wird als Frischgas
25 dem Synthesekreislaufgas des Ammoniaksynthesekreislaufs 3 hinzugefügt und gelangt über die Rückführleitung 17 zur Saugseite des in Synthesekreislaufrichtung d stromabwärts von der Einspeisung gelegenen Kompressors 19, in welchem es verdichtet wird und über dessen Druckseite es dann in Synthesekreislaufrichtung d ausgestoßen wird. Vom Kompressor 19 wird das Synthesekreislaufgas in den Konverter 14 geleitet,
30 welcher in Synthesekreislaufrichtung d stromabwärts vom Kompressor gelegen ist. Vor dem Kompressor kann dabei das Synthesekreislaufgas vorerwärmt werden, etwa über einen oder mehrere Wärmetauscher, in dem die thermische Energie des aus dem Konverter 14 ausströmenden Synthesekreislaufgases zum Vorwärmen des in den

Konverter 14 einströmenden Synthesekreislaufgases eingesetzt werden kann. Im Konverter 14 findet die Ammoniakbildungsreaktion statt, welche im Gleichgewicht (oder zumindest nahe des Gleichgewichts) abläuft, sodass der Umsatz von Stickstoff und Wasserstoff nicht vollständig ist. Im vorliegenden Fall ist Konverter 14 ein Konverter, in dem Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren erzeugt wird. Es handelt sich um einen dreistufigen Konverter (Dreibett-Konverter) von annähernd zylindrischer Form (zylinderähnlicher Form), in welchem der eingeleitete Gasstrom sukzessive durch drei Katalysatorbetten hindurchgeleitet wird, wobei zwischen zwei aufeinanderfolgenden Katalysatorbetten jeweils ein Wärmetauscher angeordnet ist, sodass nach Durchlaufen der jeweiligen Reaktorstufe überschüssige Reaktionswärme der exothermen Bildungsreaktion aus dem Synthesekreislaufgas abgeführt wird. Innerhalb des Konverters 14 sind die drei Katalysatorbetten in axialer Richtung übereinander angeordnet, wobei jedes der drei Katalysatorbetten als Zylinderschale ausgebildet ist (also in Form eines Hohlzylinders), die vom Synthesekreislaufgas in radialer Richtung durchlaufen wird. Stattdessen lassen sich auch andere Konvertertypen als Konverter 14 einsetzen, beispielsweise einstufige katalytische Konverter oder mehrstufige (etwa zweistufige, dreistufige oder 4-stufige Konverter), bei denen die einzelnen Konverterstufen in Form von Einzelkonvertern vorgesehen sind oder in Form von Konverterbetten, von denen jeweils mehr als eines in einem Konvertergehäuse angeordnet ist, wobei die einzelnen Konverterstufen beziehungsweise Konverterbetten vom Synthesekreislaufgas (in Synthesekreislaufrichtung d) sequenziell und/oder parallel durchlaufen werden und die Katalysatoranordnungen darinnen eine beliebige geeignete räumliche Struktur aufweisen können und beispielsweise in radialer oder auch in axialer Richtung durchlaufen werden können.

In Synthesekreislaufrichtung d stromabwärts vom Kompressor 19 ist die Auftrennung 15 angeordnet, in welcher das Synthesekreislaufgas in zwei Teilströme aufgeteilt wird, den ersten Teilstrom und den zweiten Teilstrom. Der zweite Teilstrom stellt dabei den größten Teil des Synthesekreislaufgases dar; dieser wird in Synthesekreislaufrichtung d durch die Rückführleitung 17 zur Einspeisung 2 geleitet, wodurch sich der kreisförmige Synthesekreislauf ausbildet. In der Rückführleitung 17 ist - in Synthesekreislaufrichtung d stromabwärts von der Auftrennung 15 – der Ammoniakabscheider 20 angeordnet, bei welchem es sich hier um eine Ammoniakkälteanlage handelt, welche Ammoniak als Kältemittel einsetzt. In dieser Anlage wird der Ammoniak auf eine Temperatur abgekühlt,

bei welcher Ammoniak aus dem Synthesekreislauf auskondensiert und somit als Zielprodukt in Form von flüssigem Ammoniak NH_3 aus dem Ammoniaksynthesekreislauf herausgeleitet wird; andere Ammoniakabscheider sind möglich, beispielsweise eine Kälteanlage, welche mit einem anderen Kältemittel als Ammoniak betrieben wird.

5 Stromabwärts vom Ammoniakabscheider 20 wird das Synthesekreislaufgas mit dem verringerten Ammoniakgehalt wieder in Synthesekreislaufrichtung d der Einspeisung 2 zugeführt.

Wie bereits beschrieben wird der erste Teilstrom des ursprünglichen Synthesekreislaufgases von der Auftrennung 15 aus über die Ablassleitung 16 aus dem Ammoniaksynthesekreislauf 3 als Ablassgas (Purgegas) herausgeleitet und über Brenngasleitung 5.2 der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 als wasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt. Dabei ist es möglich, den ersten Teilstrom vor dem Einleiten in die befeuerte Brennvorrichtung 5.2 einer Ammoniakabtrennung (etwa kryogen oder mittels Membrantechnologie) zuzuführen, um den im ersten Teilstrom enthaltenen Ammoniakanteil ebenfalls als Produkt nutzen zu können und es gleichzeitig zu vermeiden, dass nach dem Verbrennen des Brenngases in der befeuerten Brennvorrichtung 5.2 Ammoniak in die Atmosphäre gelangt. Grundsätzlich wäre es zwar möglich, auch in der erfindungsgemäßen Ammoniakanlage den ersten Teilstrom – wie bei der Ammoniaksyntheseanlage gemäß dem Stand der Technik, welche zuvor im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben wurde – zusätzlich einer Wasserstoffabtrennung zuzuführen (etwa mittels Membrantechnologie), damit der darin enthaltene Wasserstoffanteil dem Synthesekreislauf erneut zugeführt werden kann, jedoch ist es für das Ablassgas, welches gemäß der vorliegenden Erfindung aus dem Ammoniaksynthesekreislauf 3 herausgeleitet wird, gerade von Vorteil, wenn dieses einen höheren Wasserstoffgehalt aufweist, da dieses Ablassgas hier als Brenngas eingesetzt werden soll, wofür ein gewisser Wasserstoffanteil erforderlich ist.

10
15
20
25

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer zweiten Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage, anhand welcher insbesondere auch die Durchführung einer zweiten Ausgestaltung des Verfahrens zur Herstellung von Ammoniak verdeutlicht wird. Die zweite Ausgestaltung unterscheidet sich von der in Fig. 2 dargestellten ersten Ausgestaltung dahingehend, dass in der in Fig. 3 dargestellten Ammoniaksyntheseanlage die Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1 keinen Vorreformer aufweist, dass das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas mit dem dampfhaltigen Eduktgas

30

erst im autothermen Reformer 6 vermischt wird (und nicht bereits in einem Vorreformer) und dass in der in Fig. 3 dargestellten Ammoniaksyntheseanlage die Auftrennung 15 zwischen dem Ammoniakabscheider 20 und dem Kompressor 19 in Synthesekreislaufrichtung d stromaufwärts des Kompressors 19 angeordnet ist. Von diesen Unterschieden abgesehen sind die Elemente der in Fig. 3 dargestellten zweiten Ausgestaltung im Wesentlichen identisch zu der in Fig. 2 dargestellten ersten Ausgestaltung (identische Bezugszeichen beschreiben jeweils entsprechende Komponenten), was insbesondere auch die optionalen und alternativen Ausgestaltungen betrifft.

Der Verzicht auf einen Vorreformer ist möglich, da die hierbei als kohlenwasserstoffhaltiges Eduktgas eingesetzte Erdgassorte bereits von sich aus einen besonders hohen Anteil an Methan und einen besonders niedrigen Anteil an langkettigen Kohlenwasserstoffen aufweist, sodass ein Vorreformieren nicht erforderlich ist. In diesem Fall wird das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas von der Kohlenwasserstoffzuführung 4 direkt in den Gaserhitzer 5 geleitet, durch welchen es in einem Rohr hindurchgeleitet wird, das von der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 erhitzt wird. Da auf ein Vorreformieren verzichtet wird, ist es dabei möglich, das dampfhaltige Eduktgas dem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas erst im autothermen Reformer 6 hinzuzufügen. Die Auftrennung 15 ist hierbei zwischen der Einspeisung 2 und dem Kompressor 19 angeordnet und damit stromabwärts vom Ammoniakabscheider 20. Infolge der Anordnung stromabwärts vom Ammoniakabscheider 20 und stromaufwärts vom Konverter 14 weist das durch die Rückführleitung 17 zirkulierende Synthesekreislaufgas einen sehr geringen Ammoniakgehalt auf, sodass in der Auftrennung 15 mit dem ersten Teilstrom nur wenig Ammoniak aus dem Ammoniaksynthesekreislauf 3 als Ablassgas abgeführt wird und als Produkt verloren geht; eine separate Ammoniakabtrennung in der Ablassleitung 16 ist somit nicht erforderlich. Infolge der Anordnung stromaufwärts vom Kompressor 19 ist der erste Teilstrom bereits aus dem Synthesekreislaufgas abgezweigt, wenn das Synthesekreislaufgas in den Kompressor 19 gelangt, und wird daher nicht im Kompressor 19 komprimiert. Demzufolge ist es möglich, den Kompressor 19 geringfügig kleiner auszulegen.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer dritten Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage, anhand welcher insbesondere auch die Durchführung einer dritten Ausgestaltung des Verfahrens zur Herstellung von Ammoniak

verdeutlicht wird. Die dritte Ausgestaltung unterscheidet sich von der in Fig. 2 dargestellten zweiten Ausgestaltung dahingehend, dass in der in Fig. 4 dargestellten Ammoniaksyntheseanlage das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas und das dampfhaltige Eduktgas bereits vor dem Eintritt in den Vorreformer 13 miteinander vermischt werden (und nicht erst im Vorreformer 13), dass die Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1 keinen Kohlenstoffoxid-Konverter und keinen Methanisator aufweist, dass die Abzweigleitung 21 vorgesehen ist, um stromaufwärts von der Einspeisung 2 einen Teilstrom des reformierten Gasgemischs vor dem Einleiten in den Ammoniaksynthesekreislauf abzuzweigen und der Brenngasleitung 5.2 als zusätzliches Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 zuzuführen und dass die Auftrennung 15 zwischen dem Kompressor 19 und dem Konverter 14 hier in Synthesekreislaufrichtung d stromaufwärts des Konverters 14 angeordnet ist. Von diesen Unterschieden abgesehen sind die Elemente der in Fig. 4 dargestellten dritten Ausgestaltung im Wesentlichen identisch zu der in Fig. 2 dargestellten ersten Ausgestaltung (identische Bezugszeichen beschreiben jeweils entsprechende Komponenten), was insbesondere auch die optionalen und alternativen Ausgestaltungen betrifft.

Das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas und das dampfhaltige Eduktgas werden folglich vor dem Vorreformer 13 und somit auch vor dem Gaserhitzer 5 miteinander vereinigt und als vereinigt Gasgemisch durch eine gemeinsame Rohrleitung dem Vorreformer 13 zugeführt. Auf diese Weise übernimmt der Vorreformer 13 einen Teil der Prozesslast des autothermen Reformers 6. Durch Einsatz einer besonders effizienten Kohlendioxidabtrennung 10, etwa mithilfe einer mehrstufigen Druckwechsel-Adsorption, ist es möglich die geringen Anteile an Kohlenmonoxid sowie das gesamte Kohlendioxid quantitativ abzutrennen, sodass ein Methanisieren ebenfalls nicht erforderlich ist.

Von der Verbindungsleitung, welche die Kohlendioxidabtrennung 10 mit der Einspeisung 2 strömungstechnisch verbindet, zweigt eine weitere Leitung ab, Abzweigleitung 21. Über die Abzweigleitung 21 wird ein Teil des aufgearbeiteten reformierten Gasgemischs noch in der Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1 und damit vor dem Einleiten in den Ammoniaksynthesekreislauf als Teilstrom abgezweigt. Abzweigleitung 21 ist mit der Ablassleitung 16 verbunden, sodass die beiden Teilströme, welche über die jeweiligen Leitungen abgeführt werden, miteinander vereinigt werden und gemeinsam in die Brenngasleitung 5.2 münden. Damit stehen beide Teilströme der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 als wasserstoffhaltige Brenngase zur Verfügung, der Teilstrom

mit dem aufgearbeiteten reformierten Gasgemisch ebenso wie der erste Teilstrom mit dem abgezweigten Synthesekreislaufgas. Auf diese Weise ist es möglich, bei der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 auf eine zusätzliche Brenngaszufuhr zu verzichten, beispielsweise über eine Zufuhr von Erdgas. Schließlich ist die Auftrennung 15 zwischen dem Kompressor 19 und dem Konverter 14 vorgesehen. Ebenso wie bei der in Fig. 3 gezeigten zweiten Ausgestaltung weist damit der als Ablassgas aus dem Ammoniaksynthesekreislauf 3 abgeführte erste Teilstrom einen geringen Ammoniakanteil auf, sodass in der Ablassleitung 16 auf eine separate Ammoniakabtrennung zur Rückgewinnung von Ammoniak verzichtet werden kann. Gleichzeitig ist aber der abgezweigte erste Teilstrom bereits komprimiert und weist damit einen höheren Druck auf als der über die Abzweigung 21 abgeführte Teilstrom. Auf diese Weise kann die Verbindung von Ablassleitung 16 und Abzweigung 21, welche gemeinsam in der Brenngasleitung 5.2 fortgeführt werden, als Strahlpumpe ausgebildet werden, bei welcher der über Ablassleitung 16 geführte erste Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas als Treibmedium für den über Abzweigung 21 geführten Teilstrom aus dem reformierten Gasgemisch dient, was eine genaue Zumischung von letzterem Teilstrom zu ersterem Teilstrom ermöglicht.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung einer vierten Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage, anhand welcher insbesondere auch die Durchführung einer vierten Ausgestaltung des Verfahrens zur Herstellung von Ammoniak verdeutlicht wird. Die vierte Ausgestaltung unterscheidet sich von der in Fig. 2 dargestellten zweiten Ausgestaltung dahingehend, dass in der in Fig. 5 dargestellten Ammoniaksyntheseanlage die Synthesegaserzeugungsanlage 1 keinen Vorreformer und keine Luftzerlegung aufweist, dass das dampfhaltige Eduktgas in den Gaserhitzer 5 eingespeist wird (und nicht in den Vorreformer), dass innerhalb des Ammoniaksynthesekreislaufs 3 die Reihenfolge von Konverter 14 und Auftrennung 15 getauscht wurde (so dass der Konverter 14 nun stromabwärts der Auftrennung 15 und stromaufwärts des Ammoniakabscheiders 20 angeordnet ist) und die Einspeisung 2 zwischen dem Konverter 14 und dem Ammoniakabscheider 20 angeordnet wurde. Von diesen Unterschieden abgesehen sind die Elemente der in Fig. 5 dargestellten vierten Ausgestaltung im Wesentlichen identisch zu der in Fig. 2 dargestellten ersten Ausgestaltung (identische Bezugszeichen beschreiben jeweils entsprechende

Komponenten), was insbesondere auch die optionalen und alternativen Ausgestaltungen betrifft.

Ebenso wie bei der in Fig. 3 gezeigten zweiten Ausgestaltung wird hier auf einen Vorreformer verzichtet und das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas von der Kohlenwasserstoffzuführung 4 direkt dem Gaserhitzer 5 zugeführt, welchen es in einem Rohr durchquert, welche von der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 erwärmt wird. Dem Gaserhitzer wird darüber hinaus das dampfhaltige Eduktgas von der Dampfbeführung 7 zugeführt, welchen das dampfhaltige Eduktgas ebenfalls in einem Rohr durchquert, das von dem Rohr, in welchem das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas durch den Gaserhitzer 5 hindurchgeleitet wird, verschieden ist und welches ebenfalls von der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 erwärmt wird. Am Ausgang des Gaserhitzers 5 werden die beiden Rohre zusammengeführt und das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas mit dem dampfhaltigen Eduktgas vermischt, sodass sie dem autothermen Reformers 6 über eine gemeinsame Rohrleitung zugeführt werden. Die Oxidationsmittelzuführung 8 ist mit dem autothermen Reformers 6 verbunden, sodass das luftbasierende Eduktgas dem autothermen Reformers 6 separat zugeleitet wird. Das luftbasierende Eduktgas ist hier ein Gasgemisch, welches aus Luft erhalten wurde, dem Stickstoff entzogen wurde und welches über eine Gasleitung bereitgestellt wird, weshalb hier auf die direkte Anbindung an eine Luftzerlegung verzichtet werden kann. Durch die andere Anordnung der Komponenten des Ammoniaksynthesekreislaufs 3 durchläuft das Synthesekreislaufgas die Komponenten des Ammoniaksynthesekreislaufs 3 in einer anderen Reihenfolge, nämlich so, dass das Synthesekreislaufgas in Synthesekreislaufrichtung d nach Erreichen der Einspeisung 2 zunächst in den Ammoniakabscheider 20 gelangt und danach in den Kompressor 19, bevor es in die Auftrennung 15 und nachfolgend in den Konverter 14 gelangt und schließlich erneut die Einspeisung 2 erreicht. Dadurch wird im reformierten Gasgemisch enthaltenes Wasser (auch eine ohne separate Wasserabtrennung in der Synthesegaserzeugungsvorrichtung 1) nach dem Einspeisen in den Ammoniaksynthesekreislauf 3 im Ammoniakabscheider 20 aus dem Synthesekreislaufgas entfernt, bevor das Synthesekreislaufgas dem Konverter 14 zugeführt wird.

Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer fünften Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Ammoniaksyntheseanlage, anhand welcher insbesondere auch die Durchführung einer fünften Ausgestaltung des Verfahrens zur Herstellung von Ammoniak

verdeutlicht wird. Die fünfte Ausgestaltung unterscheidet sich von der in Fig. 4 dargestellten dritten Ausgestaltung dahingehend, dass in der in Fig. 6 dargestellten Ammoniaksyntheseanlage die Auftrennung 15 nicht zwischen dem Kompressor 19 und dem Konverter 14 angeordnet ist, sondern zwischen dem Ammoniakabscheider 20 und dem Kompressor 19 in Synthesekreislaufrichtung d stromaufwärts des Kompressors 19 angeordnet ist. Von diesen Unterschieden abgesehen sind die Elemente der in Fig. 6 dargestellten fünften Ausgestaltung im Wesentlichen identisch zu der in Fig. 4 dargestellten dritten Ausgestaltung (identische Bezugszeichen beschreiben jeweils entsprechende Komponenten), was insbesondere auch die optionalen und alternativen Ausgestaltungen betrifft.

Ebenso wie bei der in Fig. 4 gezeigten dritten Ausgestaltung werden hier die drei Eduktgase vor dem Einleiten in den Vorreformer 13 miteinander vermischt und diesem über eine gemeinsame Rohrleitung zugeführt. Ebenso wie bei der in Fig. 4 gezeigten dritten Ausgestaltung sind hier weder ein Kohlenstoffoxid-Konverter noch ein Methanisator vorgesehen und es zweigt Abzweigleitung 21 von der Verbindungsleitung zwischen Kohlendioxidabtrennung 10 und Einspeisung 2 ab. Die Auftrennung 15, in welcher der erste Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas abgezweigt wird, um diesem der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 zuzuleiten, ist hier jedoch zwischen dem Ammoniakabscheider 20 und der Einspeisung 2 vorgesehen, also stromabwärts von der Ammoniakeinspeisung 20 und stromaufwärts von der Einspeisung 2. Diese Anordnung bietet den Vorteil, dass der abgezweigte erste Teilstrom des Synthesekreislaufgases ebenfalls nur wenig Ammoniak aufweist, darüber hinaus aber das Frischgas noch nicht in das Synthesekreislaufgas eingespeist wurde, sodass der Verlust an Wasserstoff und Stickstoff für den Ammoniaksynthesekreislauf 3 geringer ausfällt. Die Ablassleitung 16 und die Abzweigleitung 21 werden - gegebenenfalls mithilfe eines Druckminderers zum Angleichen der unterschiedlichen Drücke beider Teilgasströme - zusammengeführt und münden in die Brenngasleitung 5.2, über welche sie der befeuerten Brennvorrichtung 5.1 zugeführt werden.

Bezugszeichenliste

	1	Synthesegaserzeugungsvorrichtung
	2	Einspeisung
	3	Ammoniaksynthesekreislauf
5	4	Kohlenwasserstoffzuführung
	5	Gaserhitzer
	5.1	befeuerte Brennvorrichtung
	5.2	Brenngasleitung
	6	autothermer Reformier
10	7	Dampfzuführung
	8	Oxidationsmittelzuführung
	9	Kohlenstoffoxid-Konverter
	10	Kohlendioxidabtrennung
	11	Methanisator
15	12	Kohlendioxidspeicher
	13	Vorreformer
	14	Konverter
	15	Auftrennung
	16	Ablasseitung
20	17	Rückführleitung
	18	Luftzerlegung
	19	Kompressor
	20	Ammoniakabscheider
	21	Abzweigleitung
25	d	Synthesekreislaufanordnung

Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Ammoniak, umfassend die Schritte
 - a) Bereitstellen von drei Eduktgasen, nämlich eines kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases, eines luftbasierenden Eduktgases und eines dampfhaltigen Eduktgases,
 - b) Erwärmen von zumindest einem der drei Eduktgase mit einer befeuerten Brennvorrichtung (5.1), wobei zumindest ein erwärmtes Eduktgas erhalten wird,
 - c) Einspeisen des zumindest einen erwärmten Eduktgases sowie der übrigen der drei Eduktgase in einen autothermen Reformier (6),
 - d) autothermes Reformieren der drei Eduktgase, wobei ein reformiertes Gasgemisch erhalten wird,
 - e) Einspeisen des reformierten Gasgemischs in einen Ammoniaksynthesekreislauf mit einem Synthesekreislaufgas,
 - f) Umsetzen des Synthesekreislaufgases in einem Konverter (14), wobei Ammoniak im Synthesekreislaufgas erzeugt wird, und
 - g) Aufteilen des Synthesekreislaufgases in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom,

dadurch gekennzeichnet, dass

der erste Teilstrom der befeuerten Brennvorrichtung (5.1) als wasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend weiterhin die Schritte
 - h) Zurückführen des zweiten Teilstroms zum Einspeisen des reformierten Gasgemischs, und
 - i) Entfernen von Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das luftbasierende Eduktgas Luft ist, die mit Sauerstoff angereichert wurde, insbesondere mit Sauerstoff aus einer Luftzerlegung (18).
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das reformierte Gasgemisch vor dem Einspeisen in das Synthesekreislaufgas einem Kohlenstoffoxid-

Konvertieren unterzogen wird, in welchem Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid reagiert, gefolgt von einem Kohlendioxidabtrennen, in welchem Kohlendioxid aus dem reformierten Gasgemisch entfernt wird, gefolgt von einem Methanisieren, in welchem Kohlenstoffoxide im reformierten Gasgemisch in Methan umgewandelt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das aus dem reformierten Gasgemisch entfernte Kohlendioxid einem Kohlendioxidspeicher (12) zugeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das reformierte Gasgemisch vor dem Einspeisen in das Synthesekreislaufgas in zwei Teilströme aufgeteilt wird, von denen der eine Teilstrom in das Synthesekreislaufgas eingespeist wird und von denen der andere Teilstrom der befeuerten Brennvorrichtung (5.1) zusätzlich zu dem ersten Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas als wasserstoffhaltiges Brenngas zugeführt wird, wobei insbesondere das wasserstoffhaltige Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung (5.1) aus dem ersten Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas und aus dem Teilstrom aus dem reformierten Gasgemisch besteht.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das kohlenwasserstoffhaltige Eduktgas vor dem Einspeisen in den autothermen Reformier (6) vorreformiert wird.

8. Ammoniaksyntheseanlage, insbesondere zum Durchführen eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, mit einer Synthesegaserzeugungsvorrichtung (1) zum Erzeugen eines reformierten Gasgemisches unter Einsatz von drei Eduktgasen, nämlich einem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas, einem luftbasierenden Eduktgas und einem dampfhaltigen Eduktgas, einem Ammoniaksynthesekreislauf (3) zum Erzeugen von Ammoniak in einem in einer Synthesekreislaufanordnung (d) geförderten Synthesekreislaufgas sowie einer Einspeisung (2) zum Einspeisen des reformierten Gasgemisches in das Synthesekreislaufgas, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung (1) und der Ammoniaksynthesekreislauf (3) strömungstechnisch über die Einspeisung (2) verbunden sind, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung (1) einen autothermen Reformier (6)

zum Erzeugen des reformierten Gasgemisches unter Einsatz der drei Eduktgase sowie einen Gaserhitzer (5) zum Erhitzen von zumindest einem der drei Eduktgase vor dem Einspeisen in den autotherme Reformier (6) aufweist, wobei der Gaserhitzer (5) eine mit einem Brenngas betreibbare befeuerte Brennvorrichtung (5.1) aufweist,

wobei der Ammoniaksynthesekreislauf (3) einen Konverter (14) zum Erzeugen von Ammoniak im Synthesekreislaufgas sowie eine Auftrennung (15) zum Auftrennen des Synthesekreislaufgases in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom aufweist, wobei die Auftrennung (15) mit einer Ablassleitung (16) zum Abführen des ersten Teilstroms verbunden ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Ablassleitung (16) der Auftrennung (15) strömungstechnisch mit der befeuerten Brennvorrichtung (5.1) verbunden ist zum Zuführen des ersten Teilstroms als Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung (5.1).

9. Ammoniaksyntheseanlage nach Anspruch 8, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung (1) zumindest drei Eduktgaszuführungen aufweist, nämlich eine Kohlenwasserstoffzuführung (4) zum Bereitstellen des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases, eine Oxidationsmittelzuführung (8) zum Bereitstellen des luftbasierenden Eduktgases und eine Dampfzuführung (7) zum Bereitstellen des dampfhaltigen Eduktgases, wobei der Gaserhitzer (5) strömungstechnisch zwischen mindestens einer Eduktgaszuführung und dem autothermen Reformier (6) angeordnet ist,

wobei die befeuerte Brennvorrichtung (5.1) eine Brenngasleitung (5.2) zum Zuführen des ersten Teilstroms als wasserstoffhaltiges Brenngas aufweist, die strömungstechnisch mit der Ablassleitung (16) verbunden ist,

wobei der Ammoniaksynthesekreislauf (3) einen Kompressor (19) zum Fördern des Synthesekreislaufgases in der Synthesekreislaufrichtung (d) und einen Ammoniakabscheider (20) zum Entfernen von Ammoniak aus dem Synthesekreislaufgas aufweist,

wobei die Auftrennung (15) zusätzlich zu der Ablassleitung (16) mit einer Rückführleitung (17) zum Rückführen des zweiten Teilstroms zur Einspeisung (2) verbunden ist.

10. Ammoniaksyntheseanlage nach einem der Ansprüche 8 oder 9, wobei die Auftrennung (15) in Synthesekreislaufriichtung (d) stromabwärts des Konverters (14) und stromaufwärts der Einspeisung (2) angeordnet ist.
- 5 11. Ammoniaksyntheseanlage nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei die Synthesegaserzeugungsrichtung (1) eine Luftzerlegung (18) zum Bereitstellen von mit Sauerstoff angereicherter Luft als luftbasierendes Eduktgas aufweist.
- 10 12. Ammoniaksyntheseanlage nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei die Synthesegaserzeugungsrichtung (1) zwischen dem autothermen Reformer (6) und der Einspeisung (2) einen Kohlenstoffoxid-Konverter (9) zum Umwandeln des Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid, eine Kohlendioxidabtrennung (10) zum Entfernen von Kohlendioxid aus dem reformierten Gasgemisch und einen Methanisator (11) zum Umwandeln von Kohlenstoffoxiden im reformierten
- 15 Gasgemisch in Methan aufweist, wobei der Kohlenstoffoxid-Konverter (9) strömungstechnisch mit dem autothermen Reformer (6) und der Kohlendioxidabtrennung (10) verbunden ist, die Kohlendioxidabtrennung (10) strömungstechnisch mit dem Kohlenstoffoxid-Konverter (9) und dem Methanisator (11) verbunden ist und der Methanisator (11) strömungstechnisch mit der
- 20 Kohlendioxidabtrennung (10) und der Einspeisung (2) verbunden ist.
13. Ammoniaksyntheseanlage nach Anspruch 12, wobei die Kohlendioxidabtrennung (10) strömungstechnisch mit dem Kohlendioxidspeicher (12) zum Speichern des aus dem reformierten Gasgemisch entfernten Kohlendioxids verbunden ist.
- 25 14. Ammoniaksyntheseanlage nach einem der Ansprüche 8 bis 13, wobei die Synthesegaserzeugungsrichtung (1) in Förderrichtung des reformierten Gasgemisches stromabwärts des autothermen Reformers (6) und stromaufwärts der Einspeisung (2) eine Aufteilung zum Aufteilen des reformierten Gasgemisches
- 30 in zwei Teilströme aufweist, wobei die Aufteilung eine Leitung zum Einspeisen des einen Teilstroms des reformierten Gasgemisches in das Synthesekreislaufgas, die strömungstechnisch mit der Einleitung verbunden ist, und eine Abzweigleitung (21) zum Zuführen des anderen Teilstroms des reformierten Gasgemisches zusätzlich zu dem ersten Teilstrom aus dem Synthesekreislaufgas als Brenngas zu der

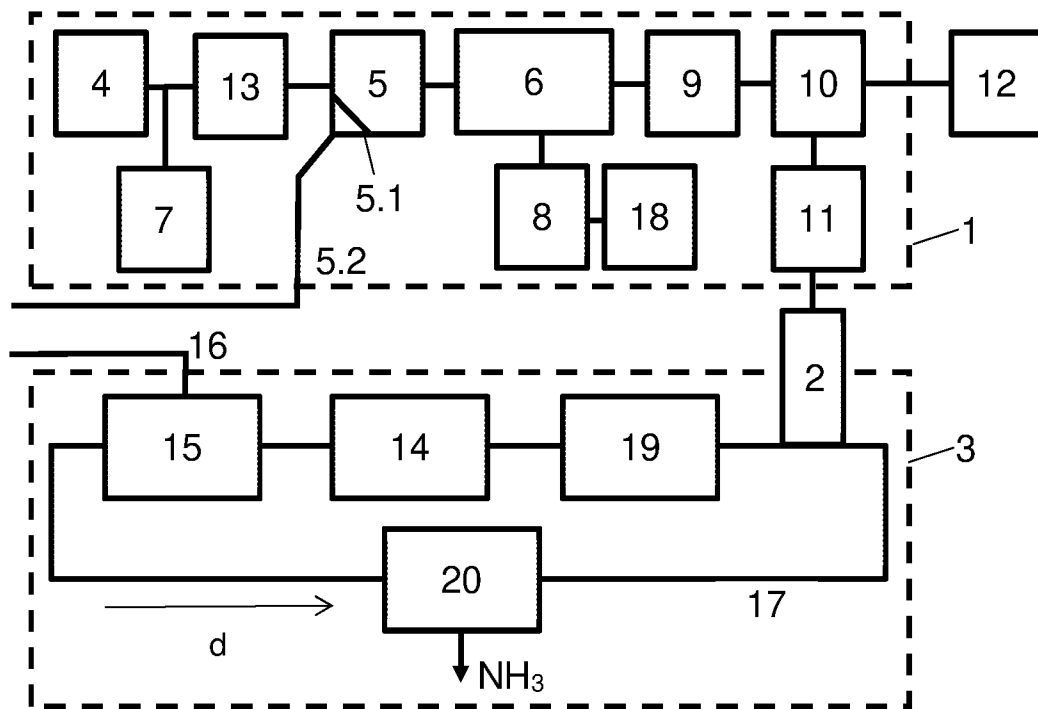
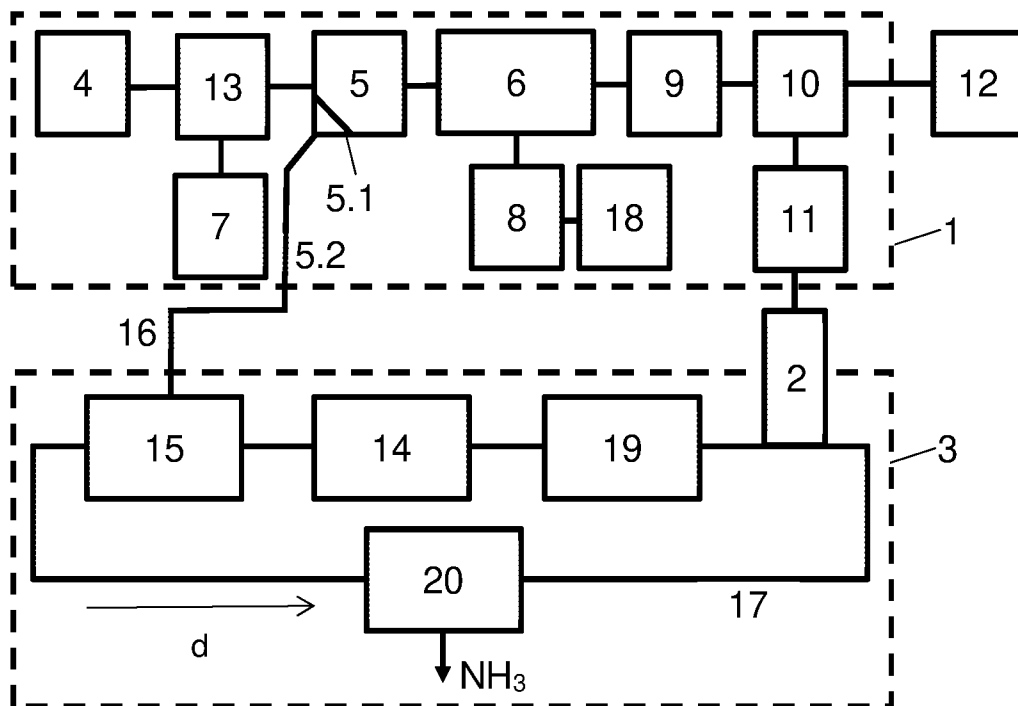
befeuerten Brennvorrichtung (5.1) aufweist, wobei die Abzwegleitung (21) strömungstechnisch mit der befeuerten Brennvorrichtung (5.1) verbunden ist.

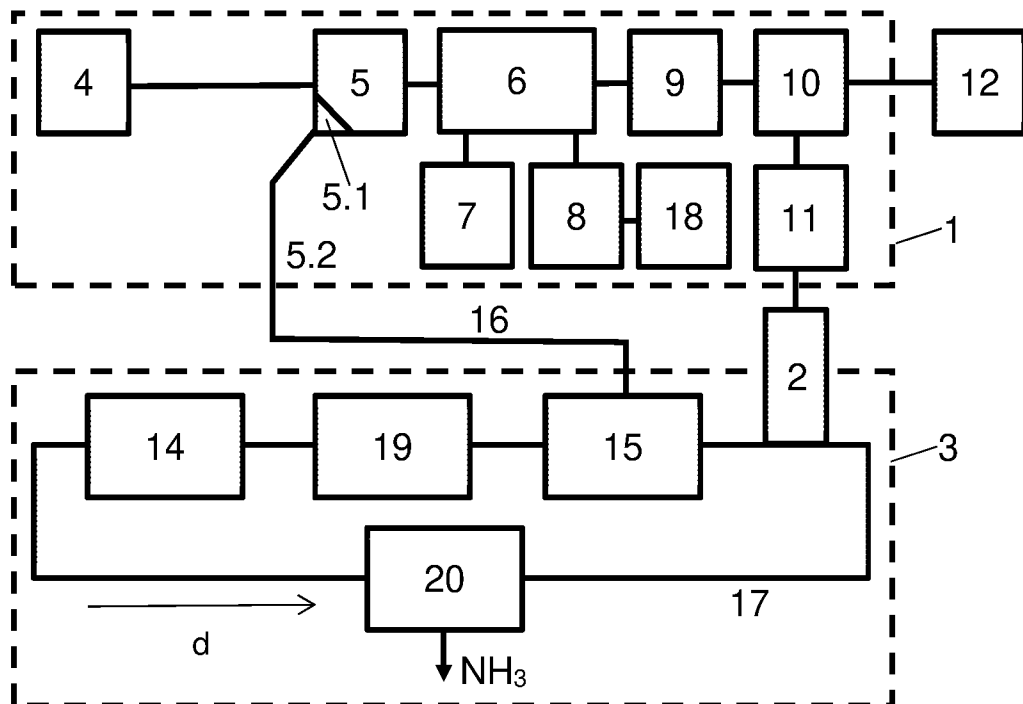
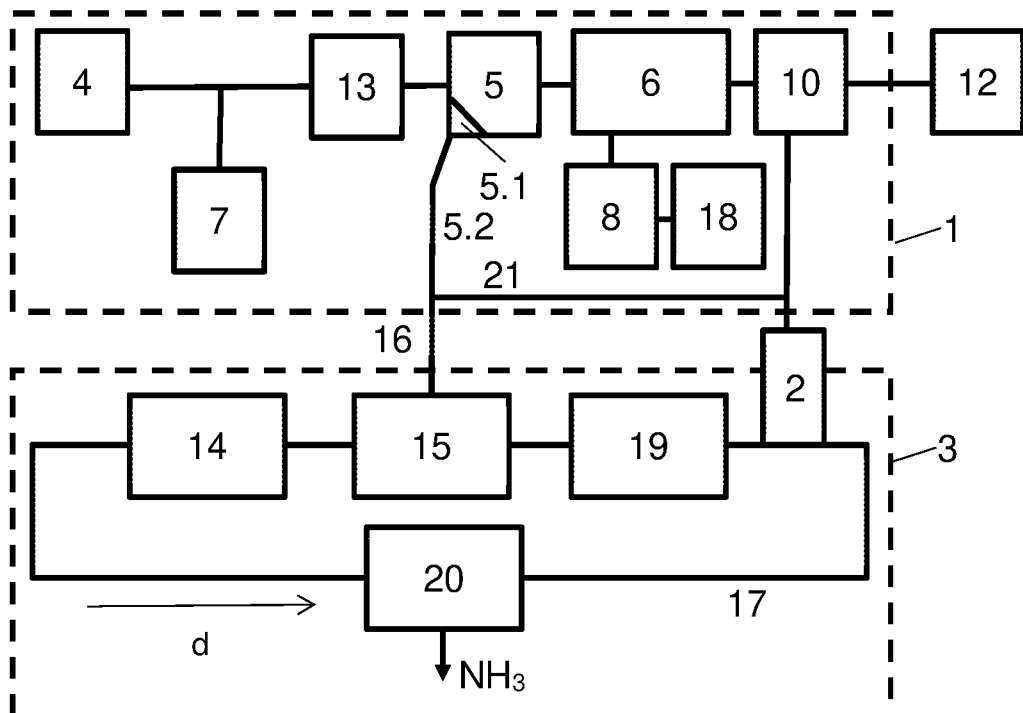
5 15. Ammoniaksyntheseanlage nach einem der Ansprüche 8 bis 14, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung (1) in Förderrichtung des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases stromaufwärts vor dem autothermen Reformer (6) einen Vorreformer (13) zum Vorreformieren des kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgases aufweist, der strömungstechnisch mit dem autothermen Reformer (6) verbunden ist.

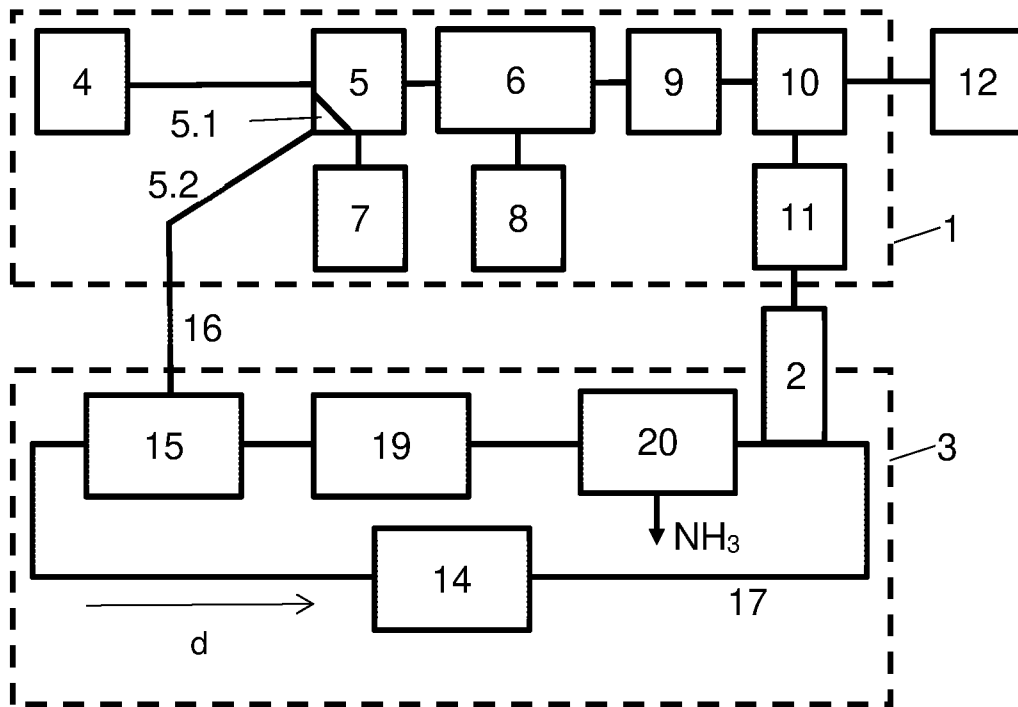
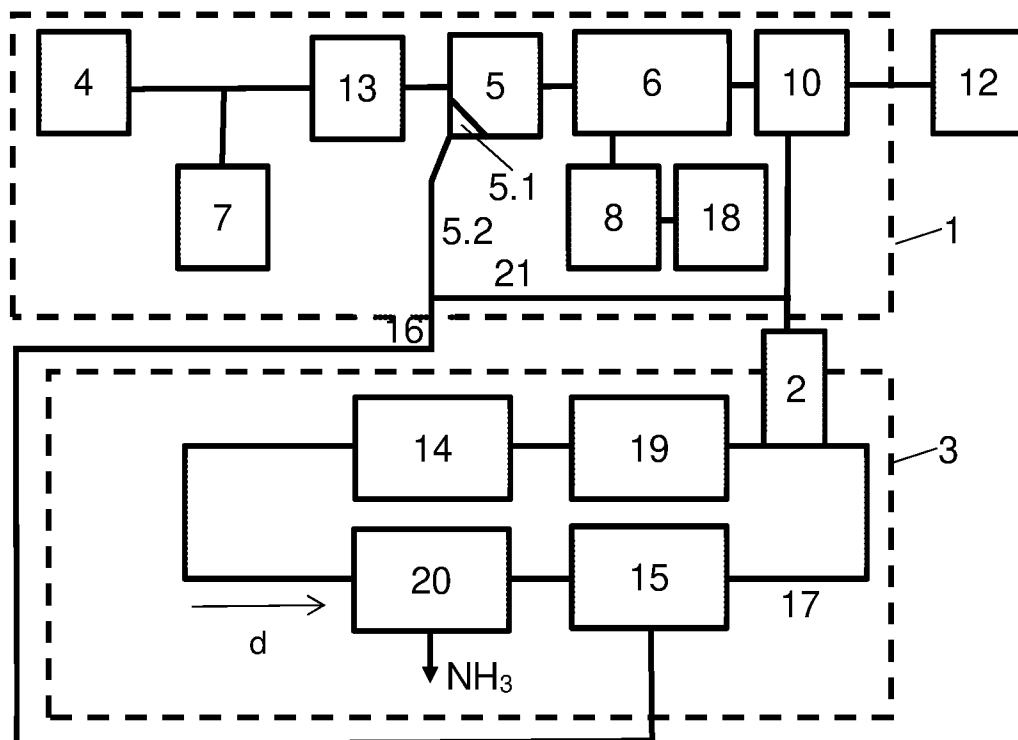
10 16. Verfahren zum Umrüsten einer Ammoniaksyntheseanlage mit einer Synthesegaserzeugungsvorrichtung (1) zum Erzeugen eines reformierten Gasgemisches unter Einsatz von drei Eduktgasen, nämlich einem kohlenwasserstoffhaltigen Eduktgas, einem luftbasierenden Eduktgas und einem dampfhaltigen Eduktgas, einem Ammoniaksynthesekreislauf (3) zum Erzeugen von Ammoniak in einem in einer Synthesekreislaufanordnung (d) geförderten Synthesekreislaufgas, sowie mit einer Einspeisung (2) zum Einspeisen des reformierten Gasgemisches in das Synthesekreislaufgas, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung (1) und der Ammoniaksynthesekreislauf (3) strömungstechnisch über die Einspeisung (2) verbunden sind, wobei die Synthesegaserzeugungsvorrichtung (1) einen autothermen Reformer (6) zum Erzeugen des reformierten Gasgemisches unter Einsatz der drei Eduktgase sowie einen Gaserhitzer (5) mit einer befeuerten Brennvorrichtung (5.1) zum Erhitzen von zumindest einem der drei Eduktgase vor dem Einspeisen in den autotherme Reformer (6) aufweist, wobei der Ammoniaksynthesekreislauf (3) einen Konverter (14) zum Erzeugen von Ammoniak im Synthesekreislaufgas aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass

30 eine Ablassleitung (16) eingebaut wird, die den Ammoniaksynthesekreislauf mit der befeuerten Brennvorrichtung (5.1) zum Zuführen eines abgeführten Teilstroms als wasserstoffhaltiges Brenngas der befeuerten Brennvorrichtung (5.1) verbindet.

**Fig. 1****Fig. 2**

**Fig. 3****Fig. 4**

**Fig. 5****Fig. 6**