



(10) **DE 10 2015 114 201 A1** 2017.03.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 114 201.5**

(22) Anmeldetag: **26.08.2015**

(43) Offenlegungstag: **02.03.2017**

(51) Int Cl.: **B01J 8/04** (2006.01)
C01C 1/04 (2006.01)

(71) Anmelder:

ThyssenKrupp AG, 45143 Essen, DE;
ThyssenKrupp Industrial Solutions AG, 45143
Essen, DE

(72) Erfinder:

Michel, Reinhard, 44797 Bochum, DE; Kinner,
Andreas, 45663 Recklinghausen, DE

(74) Vertreter:

Kutzenberger Wolff & Partner
Patentanwaltpartnerschaft mbB, 50668 Köln, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

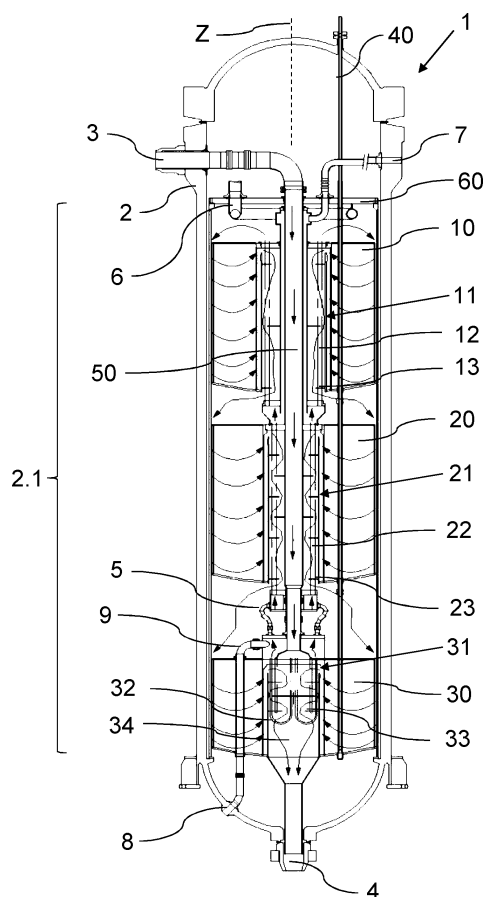
DE	697 32 781	T2
EP	0 222 069	A2
EP	2 610 001	A1
EP	2 759 338	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Reaktor und Verfahren zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemisches**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen Reaktor zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemischs, insbesondere zur katalytischen Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch umfassend im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff, mit einem Druckbehälter (2), welcher einen Einlass (3) für das Gasgemisch und einen Auslass (4) für das Reaktionsprodukt aufweist, mit einem ersten Katalysatorbett (10), einem zweiten Katalysatorbett (20) und einem dritten Katalysatorbett (30), welche derart angeordnet sind, dass das durch den Einlass (3) eingeleitete Gasgemisch zunächst durch das erste Katalysatorbett (10), dann durch das zweite Katalysatorbett (20) und schließlich durch das dritte Katalysatorbett (30) zum Auslass (4) geleitet wird, mit einem ersten Wärmetauscher (11) zum Abkühlen des aus dem ersten Katalysatorbett (10) ausströmenden Gasgemischs und mit einem zweiten Wärmetauscher (21) zum Abkühlen des aus dem zweiten Katalysatorbett (20) ausströmenden Gasgemischs, wobei der Reaktor (1) einen dritten Wärmetauscher (31) zum Abkühlen des aus dem dritten Katalysatorbett (30) in Richtung des Auslasses (4) ausströmenden Gasgemischs aufweist.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Reaktor zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemisches, insbesondere zur katalytischen Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch umfassend im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff, mit einem Druckbehälter, welcher einen Einlass für das Gasgemisch und einen Auslass für das Reaktionsprodukt aufweist, mit einem ersten Katalysatorbett, einem zweiten Katalysatorbett und einem dritten Katalysatorbett, welche derart angeordnet sind, dass das durch den Einlass eingeleitete Gasgemisch zunächst durch das erste Katalysatorbett, dann durch das zweite Katalysatorbett und schließlich durch das dritte Katalysatorbett zum Auslass geleitet wird, mit einem ersten Wärmetauscher zum Abkühlen des aus dem ersten Katalysatorbett ausströmenden Gasgemisches und mit einem zweiten Wärmetauscher zum Abkühlen des aus dem zweiten Katalysatorbett ausströmenden Gasgemisches. Ferner betrifft die Erfindung einen Einsatz für einen Druckbehälter eines derartigen Reaktors. Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemisches, insbesondere zur katalytischen Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch umfassend im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff, in einem Reaktor mit einem Druckbehälter, wobei das Gasgemisch durch einen Einlass des Druckbehälters eingeleitet wird und das Reaktionsprodukt durch einen Auslass des Druckbehälters abgezogen wird, wobei das durch den Einlass eingeleitete Gasgemisch zunächst durch das erste Katalysatorbett, dann durch das zweite Katalysatorbett und schließlich durch das dritte Katalysatorbett zum Auslass geleitet wird, wobei das aus dem ersten Katalysatorbett ausströmende Gasgemisch in einem ersten Wärmetauscher abgekühlt wird und wobei das aus dem zweiten Katalysatorbett ausströmende Gasgemisch in einem zweiten Wärmetauscher abgekühlt wird.

[0002] Ein derartiger Reaktor zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemisches ist beispielsweise aus der DE 10 2006 061 847 A1 bekannt. Dieser Reaktor wird zur Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch eingesetzt, welches im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff umfasst. Der bekannte Reaktor weist einen Druckbehälter mit einem im oberen Bereich des Druckbehälters angeordneten Einlass für das Gasgemisch und einem im unteren Bereich des Druckbehälters angeordneten Auslass für das Reaktionsprodukt auf. Im Bereich zwischen dem Einlass und dem Auslass sind insgesamt drei Katalysatorbetten angeordnet, welche von dem eingeleiteten Gasgemisch hintereinander durchströmt werden.

[0003] Die katalytische Ammoniaksynthese aus Wasserstoff und Stickstoff ist eine exotherme Reaktion.

Es besteht die Gefahr, dass die Katalysatorbetten durch die freiwerdende Reaktionswärme zu stark erwärmt werden und dadurch vorzeitig altern. Zu Abführung der Reaktionswärme sind daher den im Strömungsfluss des Gasgemisches an erster und zweiter Stelle angeordneten Katalysatorbetten Wärmetauscher zugeordnet, welche das aus dem jeweiligen Katalysatorbett austretende Gasgemisch abkühlen, bevor es in das nachfolgende Katalysatorbett einströmt. Das aus dem unteren Katalysatorbett ausströmende Gasgemisch wird über den Auslass des Druckbehälters abgezogen.

[0004] Bei dem bekannten Reaktor hat es sich für einige Anwendungsfälle als nachteilig herausgestellt, dass das aus dem Druckbehälter austretende Reaktionsprodukt relativ hohe Temperaturen aufweist. Die das Reaktionsprodukt aufnehmenden Anlagen, welche die Reaktionsprodukte des Reaktors aufnehmen, werden daher mit erhöhten Temperaturen beansprucht.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die thermische Beanspruchung solcher Anlagen zu verringern, welche Reaktionsprodukte des Reaktors aufnehmen.

[0006] Bei einem Reaktor der eingangs genannten Art wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass der Reaktor einen dritten Wärmetauscher zum Abkühlen des aus dem dritten Katalysatorbett in Richtung des Auslasses ausströmenden Gasgemisches aufweist.

[0007] Durch den dritten Wärmetauscher kann das aus dem dritten Katalysatorbett austretende Gasgemisch, welches insbesondere Reaktionsprodukte wie beispielsweise gasförmiges Ammoniak enthält, innerhalb des Druckbehälters abgekühlt werden, bevor es über den Auslass des Druckbehälters abgezogen wird. Durch den dritten Wärmetauscher kann somit die thermische Beanspruchung solcher Anlagen verringert werden, welche die Reaktionsprodukte des Reaktors aufnehmen. Es ist nicht erforderlich, den Druck oder die Temperatur innerhalb des Druckbehälters zu verändern, um die Temperatur der austretenden Reaktionsprodukte zu beeinflussen. Zudem kann die Wärme, welche von dem aus dem dritten Katalysatorbett ausströmenden Gasgemisch abgegeben wird, genutzt werden, um das in den Druckbehälter einströmende Gasgemisch zu erwärmen.

[0008] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung sind das erste Katalysatorbett, das zweite Katalysatorbett und das dritte Katalysatorbett in einem zylindrischen Reaktionsbereich des Druckbehälters angeordnet, wobei der Druckbehälter ein entlang einer Zylinderachse des Reaktionsbereichs verlaufendes Zentralrohr aufweist, über welches der Einlass des

Druckbehälters mit dem dritten Wärmetauscher verbunden ist. Über das Zentralrohr kann das über den Einlass zugeführte Gasgemisch zunächst dem dritten Wärmetauscher zugeführt werden, um durch die Wärme des aus dem dritten Katalysatorbett austretenden Gasgemischs erwärmt zu werden. Die Anordnung des Zentralrohrs auf der Zylinderachse bietet den konstruktiven Vorteil, dass das erste Katalysatorbett und das zweite Katalysatorbett sowie der erste Wärmetauscher und der zweite Wärmetauscher in dem das Zentralrohr umgebenden ringförmigen Raum angeordnet werden können.

[0009] Als besonders vorteilhaft hat sich eine Ausgestaltung herausgestellt, bei welcher das Zentralrohr durch eine zentrale Ausnehmung des ersten Wärmetauschers und eine zentrale Ausnehmung des zweiten Wärmetauschers verläuft. Die Durchführung des Zentralrohrs durch zentrale Ausnehmungen des ersten Wärmetauschers und des zweiten Wärmetauschers ermöglicht es, Wärmeaustauschflächen der Wärmetauscher derart in dem die Ausnehmung umgebenden Bereich anzuordnen, dass die Größe der Wärmeaustauschfläche nicht negativ durch die Durchführung des Zentralrohrs beeinflusst wird.

[0010] Bevorzugt ist es ferner, wenn der erste Wärmetauscher, der zweite Wärmetauscher und der dritte Wärmetauscher derart miteinander verbunden sind, dass das Gasgemisch ausgehend von dem dritten Wärmetauscher durch den zweiten Wärmetauscher in den ersten Wärmetauscher geleitet wird. Die Verbindung des dritten Wärmetauschers mit dem zweiten Wärmetauscher und/oder die Verbindung des zweiten Wärmetauschers mit dem ersten Wärmetauscher kann über Leitungen erfolgen. Insofern wird es möglich, das in den Druckbehälter eingeleitete Gasgemisch im Gegenstrom zu dem durch die drei Katalysatorbetten strömenden Gasgemisch durch die drei Wärmetauscher des Reaktors zu leiten und dabei zu erwärmen.

[0011] Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, dass das dritte Katalysatorbett hohlzylindrisch ausgebildet ist, wobei der dritte Wärmetauscher von dem dritten Katalysatorbett konzentrisch umgeben ist. Durch eine derartige Anordnung des dritten Wärmetauschers innerhalb eines Innenradius des hohlzylindrischen dritten Katalysatorbetts, ist es nicht erforderlich, zusätzlichen Bauraum für den dritten Wärmetauscher oberhalb oder unterhalb des dritten Katalysatorbetts innerhalb des Druckbehälters bereitzustellen. Bevorzugt ist der dritte Wärmetauscher auf der Zylinderachse des zylindrischen Reaktionsbereichs angeordnet. Besonders bevorzugt ist eine Ausgestaltung, bei welcher das erste Katalysatorbett und/ das zweite Katalysatorbett hohlzylindrisch ausgebildet sind. Der erste Wärmetauscher und/oder der zweite Wärmetauscher kann von dem ersten Kataly-

satorbett bzw. dem zweiten Katalysatorbett konzentrisch umgeben sein.

[0012] Bevorzugt ist der dritte Wärmetauscher als Rohr-Wärmetauscher, insbesondere als U-Rohr-Wärmetauscher, ausgebildet. Solche Rohr-Wärmetauscher können Rohre aufweisen, durch welche ein erstes Medium, beispielsweise das durch den Einlass einströmende Gasgemisch, strömt und einen die Rohre umgebenden Mantelraum, durch welche ein zweites Medium, beispielsweise das aus dem dritten Katalysatorbett strömende Gasgemisch, strömt. Besonders bevorzugt ist der dritte Wärmetauscher als U-Rohr-Wärmetauscher ausgebildet, welcher U-förmige Rohre aufweist. In die U-förmigen Rohre kann das durch den Einlass einströmende Gasgemisch eingeleitet werden. Durch die Verwendung eines U-Rohr-Wärmetauschers ergibt sich der konstruktive Vorteil, dass die Zuleitung und Abführung des durch die U-Rohre geleiteten Mediums, beispielsweise des durch den Einlass einströmenden Gasgemischs, auf derselben Seite des dritten Wärmetauschers erfolgen kann. Insofern ist es möglich, das Gasgemisch insbesondere durch das Zentralrohr von oben in den dritten Wärmetauscher einzuleiten und auch nach oben in Richtung des zweiten Wärmetauschers abzuführen. Bevorzugt ist es, wenn der Rohr-Wärmetauscher, insbesondere der U-Rohr-Wärmetauscher, einen die Rohre umgebenden Mantelraum aufweist, in welchem Umlenkbleche angeordnet sind, über welche das aus dem dritten Katalysatorbett ausströmende Gasgemisch umgelenkt wird. Die Umlenkbleche können ringförmig und/oder scheibenförmig ausgestaltet sein.

[0013] Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, dass der dritte Wärmetauscher über eine Bypass-Leitung mit einem Steuereinlass des Druckbehälters verbunden ist. Über den Steuereinlass und die Bypass-Leitung kann während des Betriebs des Reaktors ein Gas oder Gasgemisch zugeleitet werden, welches eine Temperatur aufweist, die von der Temperatur des über den Einlass des Druckbehälters eingeleiteten Gasgemischs abweicht. Insofern ist es anhand der Bypass-Leitung und des Steuereinlasses möglich, die Temperatur des Gasgemischs in dem dritten Wärmetauscher einzustellen. Besonders bevorzugt weist der Wärmetauscher einen thermisch mit dem dritten Katalysatorbett gekoppelten Mantelraum auf, in welchen die Bypass-Leitung mündet, so dass es möglich ist, anhand der Bypass-Leitung und des Steuereinlasses die Temperatur des dritten Katalysatorbetts einzustellen. Um eine Steuerung und/oder Regelung der Temperatur innerhalb des ersten, zweiten und/oder dritten Katalysatorbetts zu ermöglichen, kann der Reaktor einen oder mehrere Temperatursensoren aufweisen, welche insbesondere innerhalb des ersten, zweiten und/oder dritten Katalysatorbetts angeordnet sind. Der Temperatursensor

kann insbesondere als Thermoelement ausgebildet sein.

[0014] Bevorzugt ist es, wenn das erste Katalysatorbett, das zweite Katalysatorbett und das dritte Katalysatorbett derart innerhalb des Druckbehälters angeordnet sind, dass sie von dem Gasgemisch in einer radialen Strömungsrichtung durchströmbar sind.

[0015] Zur Lösung der Aufgabe wird ferner ein Einsatz für einen Druckbehälter eines Reaktors zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemischs vorgeschlagen, insbesondere eines Reaktors zur katalytischen Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch umfassend im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff, mit einem ersten Katalysatorbett, einem zweiten Katalysatorbett und einem dritten Katalysatorbett, welche derart angeordnet sind, dass das durch einen Einlass des Druckbehälters eingeleitete Gasgemisch zunächst durch das erste Katalysatorbett, dann durch das zweite Katalysatorbett und schließlich durch das dritte Katalysatorbett zum Auslass geleitet wird, mit einem ersten Wärmetauscher zum Abkühlen des aus dem ersten Katalysatorbett ausströmenden Gasgemischs und mit einem zweiten Wärmetauscher zum Abkühlen des aus dem zweiten Katalysatorbett ausströmenden Gasgemischs, wobei der Einsatz einen dritten Wärmetauscher zum Abkühlen des aus dem dritten Katalysatorbett in Richtung eines Auslasses des Druckbehälters ausströmenden Gasgemischs aufweist.

[0016] Mit dem Einsatz können dieselben Vorteile erreicht werden, wie sie bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Reaktor beschrieben worden sind. Der Einsatz kann nach Art einer Nachrüstlösung in einen Druckbehälter eines bereits installierten Reaktors eingesetzt werden.

[0017] Bei einem Verfahren der eingangs genannten Art wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass das aus dem dritten Katalysatorbett in Richtung des Auslasses ausströmende Gasgemisch in einem dritten Wärmetauscher abgekühlt wird.

[0018] Bei dem Verfahren können dieselben Vorteile erreicht werden, wie sie bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Reaktor beschrieben worden sind.

[0019] Bei dem Einsatz und dem Verfahren können auch die im Zusammenhang mit dem Reaktor beschriebenen vorteilhaften Merkmale allein oder kumulativ Verwendung finden.

[0020] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Zeichnungen, sowie aus der nachfolgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform anhand der Zeichnung. Die Zeichnung illustriert dabei lediglich eine beispiel-

hafte Ausführungsform der Erfindung, welche den Erfindungsgedanken nicht einschränkt.

Kurze Beschreibung der Figur

[0021] Die **Fig. 1** zeigt einen Reaktor zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemischs gemäß einem Ausführungsbeispiel in einer schematischen Schnittdarstellung.

Ausführungsformen der Erfindung

[0022] In der **Fig. 1** ist eine Schnittdarstellung eines Ausführungsbeispiels eines Reaktors **1** gezeigt, welcher in einem Verfahren zur katalytischen Ammoniaksynthese eingesetzt werden kann. Der Reaktor **1** weist einen Druckbehälter **2** auf, welcher einen Einlass **3** zum Einleiten eines Gasgemischs und einen Auslass **4** zum Abführen von Reaktionsprodukten aufweist. Der Einlass **3** ist seitlich im oberen Bereich des Druckbehälters **2** vorgesehen und kann alternativ an der Oberseite des Druckbehälters **2** angeordnet sein. Der Auslass **4** befindet sich an der Unterseite des Druckbehälters **2**. Im Bereich zwischen dem Einlass **3** und dem Auslass **4** umfasst der Druckbehälter **2** einen Reaktionsbereich **2.1**, der eine im Wesentlichen zylindrische Form aufweist. Der Reaktor **1** wird im Betrieb in der in **Fig. 1** aufrechten Stellung betrieben, in welcher der Druckbehälter **2** vertikal angeordnet ist.

[0023] Der Druckbehälter **2** ist gasdicht abgeschlossen, so dass innerhalb des Druckbehälters **2** ein für die Ammoniaksynthese förderlicher Druck, bevorzugt im Bereich größer 200 bar, besonders bevorzugt im Bereich von 250 bar bis 350 bar eingestellt werden kann.

[0024] Innerhalb des Druckbehälters **2**, insbesondere in dem Reaktionsbereich **2.1** des Druckbehälters **2**, sind insgesamt drei Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** angeordnet. Die Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** können als mit einem als Schüttgut ausgebildeten Katalysator bestückte Katalysatorkörbe ausgestaltet sein. Die Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** können einen eisenhaltigen Katalysator aufweisen. Ein erstes Katalysatorbett **10** ist einem oberen Abschnitt des Reaktionsbereichs **2.1** angeordnet. Unterhalb des ersten Katalysatorbetts **10** ist beabstandet ein zweites Katalysatorbett **20** angeordnet. Im unteren Abschnitt des Reaktionsbereichs **2.1** ist, beabstandet von dem zweiten Katalysatorbett **20**, ein drittes Katalysatorbett **30** vorgesehen. Insofern befindet sich das zweite Katalysatorbett **20** zwischen dem ersten Katalysatorbett **10** und dem dritten Katalysatorbett **30**.

[0025] Die Führung des Gasgemischs durch die Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** erfolgt derart, dass das eingeleitete Gasgemisch zunächst durch das obere, erste Katalysatorbett **10**, dann durch das mittlere, zweite

Katalysatorbett **20** und schließlich durch das untere, dritte Katalysatorbett **30** geleitet wird.

[0026] Die Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** weisen eine hohlzylindrische Grundform auf und sind konzentrisch um eine Zylinderachse **Z** des Reaktionsbereichs **2.1** angeordnet. Zwischen den Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** und der Innenwand des Druckbehälters **2** ist ein ringförmiger Freiraum vorgesehen, über welchen das Gasgemisch derart an die Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** herangeführt wird, dass es die Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** jeweils radial, also in einer Richtung senkrecht zur Zylinderachse **Z**, durchströmt. Insofern wird das Gasgemisch in dem Reaktor **1** derart geführt, dass es an der äußeren Mantelfläche des jeweiligen Katalysatorbetts **10**, **20**, **30** in das Katalysatorbett **10**, **20**, **30** eintritt, das Katalysatorbett **10**, **20**, **30** durchströmt und schließlich an der inneren Mantelfläche des Katalysatorbetts **10**, **20**, **30** austritt. Im dem Bereich, den die innere Mantelfläche der hohlzylindrischen Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** einschließt, ist jeweils ein Wärmetauscher **11**, **21**, **31** angeordnet, in welchen das aus dem jeweiligen Katalysatorbett **10**, **20**, **30** austretende und durch die exotherme Reaktion erwärmte Gasgemisch, welches insbesondere auch das Reaktionsprodukt Ammoniak enthält, eingeleitet wird.

[0027] In dem ersten Wärmetauscher **11**, welcher konzentrisch von dem ersten Katalysatorbett **10** umgeben ist, wird das aus dem ersten Katalysatorbett **10** austretende Gasgemisch abgekühlt. Durch das Abkühlen kann verhindert werden, dass in Strömungsrichtung nachfolgende zweite Katalysatorbett **20** durch überhöhte Temperaturen beaufschlagt wird und vorzeitig altert. Das aus dem ersten Katalysatorbett **10** austretende Gasgemisch wird um Umlenkleche **13** des ersten Wärmetauschers **11** geführt. Der zweite Wärmetauscher **21** ist konzentrisch von dem zweiten Katalysatorbett **20** umgeben und kühlt das aus dem zweiten Katalysatorbett **20** austretende Gasgemisch, so dass eine Überhitzung und vorzeitige Alterung des in Strömungsrichtung nachfolgenden dritten Katalysatorbetts **30** verhindert werden kann. Das aus dem zweiten Katalysatorbett **20** austretende Gasgemisch wird um Umlenkleche **23** des zweiten Wärmetauschers **21** geführt.

[0028] Bei dem Reaktor **1** ist zudem ein dritter Wärmetauscher **31** vorgesehen, in welchen das aus dem dritten Katalysatorbett **30** ausströmende Gasgemisch eingeleitet und abgekühlt wird, bevor es durch den Auslass **4** des Druckbehälters **2** abgegeben wird. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass das aus dem Auslass **4** austretende Gasgemisch, welches die Reaktionsprodukte enthält, eine reduzierte Temperatur aufweist und dem Reaktor nachfolgende Anlagen thermisch weniger belastet werden.

[0029] Zudem kann die in dem Reaktor entstehende Reaktionswärme zum Vorwärmen des in den Druckbehälter **2** des Reaktors **1** eingeleiteten Gasgemischs genutzt werden, bevor diese den Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** zugeleitet wird. Der dritte Wärmetauscher **31** ist über ein entlang der Zylinderachse **Z** verlaufendes Zentralrohr **50** mit dem Einlass **3** des Druckbehälters **2** verbunden, so dass das durch den Einlass **3** einströmende Gasgemisch zunächst dem dritten Wärmetauscher **31** zugeführt wird. Das Zentralrohr **50** verläuft durch Ausnehmungen in dem ersten Wärmetauscher **11** und dem zweiten Wärmetauscher **21**, welche beide als Rohrwärmetauscher, insbesondere Rohrbündelwärmetauscher ausgestaltet sind. Der dritte Wärmetauscher **31** ist als U-Rohr-Wärmetauscher ausgebildet, der einen Mantelraum **34** und durch den Mantelraum **34** verlaufende U-Rohre **32** aufweist. Der Mantelraum **34** wird von dem heißen aus dem dritten Katalysatorbett **30** austretenden Gasgemisch durchströmt. Innerhalb des Mantelraums **34** sind ringförmige und/oder scheibenförmige Umlenkleche angeordnet, über welche das aus dem dritten Katalysatorbett **30** austretende Gasgemisch geführt wird. Das Zentralrohr **50** ist derart mit dem dritten Wärmetauscher **31** gekoppelt, dass das durch das Zentralrohr strömende Gasgemisch in die U-Rohre **32** des dritten Wärmetauschers **31** eingeleitet wird. Das durch die U-Rohre **32** des Dritten Wärmetauschers **31** strömende Gasgemisch wird dabei erwärmt.

[0030] Die Ausgestaltung des dritten Wärmetauschers **31** als U-Rohr-Wärmetauscher bringt den Vorteil mit sich, dass sowohl die Zuführung des vorzuwärmenden Gasgemisches als auch die Ableitung des vorgewärmten Gasgemisches von derselben Seite, hier der Oberseite, des dritten Wärmetauschers **31** erfolgen kann. Der dritte Wärmetauscher **31** ist an seiner dem zweiten Wärmetauscher **21** zugewandten Oberseite mit dem Zentralrohr **50** als Zuführleitung und mehreren Ableitungsrohren **5** verbunden. Die Ableitungsrohre **5** verbinden den dritten Wärmetauscher **31** mit dem zweiten Wärmetauscher **21**. Die Ableitungsrohre **5** können demontierbar ausgebildet sein. Das aus dem dritten Wärmetauscher **31** austretende Gasgemisch wird durch Wärmetauscherrohre **22** des zweiten Wärmetauschers **21** geführt und dann dem ersten Wärmetauscher **11** zugeleitet. In dem ersten Wärmetauscher **11** verläuft das Gasgemisch durch Wärmetauscherrohre **12** und tritt dann an der Oberseite des ersten Wärmetauschers **11** aus. Das durch die drei Wärmetauscher **11**, **21**, **31** vorgewärmte Gasgemisch wird dann dem ersten Katalysatorbett **10** zugeleitet. Da das in den Druckbehälter **2** geleitete Gasgemisch durch drei Wärmetauscher **11**, **21**, **31** vorgewärmt wird, welche den drei Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** zugeordnet sind, kann das eingeleitete Gasgemisch im Vergleich zu einem Reaktor mit lediglich zwei Wärmetauschern stärker vorgewärmt werden.

[0031] Insofern ist es möglich, ein Gasgemisch mit verringerter Temperatur in den Einlass **3** des Druckbehälters **2** einzuleiten.

[0032] Der Druckbehälter **2** des Reaktors **1** weist zudem drei Steuereinlässe **6**, **7**, **8** auf, über welche die Temperatur im Inneren des Druckbehälters **2**, insbesondere in den Katalysatorbetten **10**, **20**, **30**, eingestellt werden kann. Ein erster Steuereinlass **6** ist in der Darstellung in **Fig. 1** nur unvollständig gezeigt und durchstößt den Druckbehälter **2** an der Oberseite. Der erste Steuereinlass **6** ist mit einer oberhalb des ersten Katalysatorbetts **10** angeordneten Ringleitung verbunden, welche mit Austrittsöffnungen versehen ist. Über den ersten Steuereinlass **6** kann zum Anfahren des Reaktors **1** ein heißes Gasgemisch zugeleitet werden. Im Betrieb des Reaktors **1** kann über den ersten Steuereinlass **6** ein Gasgemisch mit einer vorgegebenen Temperatur zugeleitet werden, um die Temperatur des ersten Katalysatorbetts **10** einzustellen. Der zweite Steuereinlass **7** ist mit einem konzentrisch um das Zentralrohr **50** verlaufendem Mantelrohr verbunden, welches durch eine Ausnehmung in dem ersten Wärmetauscher **11** bis zu dem zweiten Katalysatorbett **20** verläuft. Im Betrieb des Reaktors **1** kann über den zweiten Steuereinlass **7** ein Gasgemisch mit einer vorgegebenen Temperatur zugeleitet werden, um die Temperatur des zweiten Katalysatorbetts **20** einzustellen.

[0033] Ein dritter Steuereinlass **8** befindet sich an der Unterseite des Druckbehälters **2**. Der dritte Steuereinlass **8** ist über eine Bypass-Leitung **9** mit dem dritten Wärmetauscher **31** verbunden. Die Bypass-Leitung **9** mündet in den Mantelraum **34** des dritten Wärmetauschers **31**, so dass das über den dritten Steuereinlass **8** zugeführte Gasgemisch in den Mantelraum **32** geführt wird. Der dritte Wärmetauscher **31**, insbesondere der Mantelraum **32** des dritten Wärmetauschers **31**, ist thermisch mit dem dritten Katalysatorbett **30** gekoppelt. Im Betrieb des Reaktors **1** kann über den dritten Steuereinlass **8** ein Gasgemisch mit einer vorgegebenen Temperatur zugeleitet werden, um die Temperatur des dritten Katalysatorbetts **30** einzustellen.

[0034] Insofern kann bei dem Reaktor **1** die Temperatur in den drei Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** unabhängig voneinander eingestellt werden. Bevorzugt liegt die Temperatur innerhalb der Katalysatorbetten im Bereich von 450°C bis 550°C.

[0035] Der Reaktor **1** weist ferner einen Temperatursensor **40** auf, der mehrere Thermoelemente umfasst. Ein erstes Thermoelement ist innerhalb des ersten Katalysatorbetts **10**, ein zweites Thermoelement ist innerhalb des zweiten Katalysatorbetts **20** und ein drittes Thermoelement innerhalb des dritten Katalysatorbetts **30** angeordnet. Über die Thermoele-

mente kann die Temperatur in den Katalysatorbetten **10**, **20**, **30** erfasst werden.

[0036] Bei dem Reaktor **1** sind die Katalysatorbetten **10**, **20**, **30**, die Wärmetauscher **11**, **21**, **31** sowie das Zentralrohr **50** und die die Wärmetauscher **11**, **21**, **31** verbindenden Rohre **5** als Teil eines Einsatzes **60** ausgebildet, welcher von dem Druckbehälter **2** trennbar ist. Der Einsatz **60** kann als Ganzes aus dem Druckbehälter **2** entnommen werden, um Wartungsarbeiten durchzuführen. Es ist aber auch möglich, den Einsatz **60** als Nachrüstteil in einen Druckbehälter **2** eines vorhandenen Reaktors **1** einzusetzen.

[0037] Mit dem Reaktor **1** kann ein Verfahren zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemischs durchgeführt werden, insbesondere ein Verfahren zur katalytischen Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch umfassend im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff. Hierbei wird das Gasgemisch durch den Einlass **3** des Druckbehälters **2** eingeleitet und das Reaktionsprodukt, insbesondere Ammoniak, wird durch den Auslass **4** des Druckbehälters **2** abgezogen. Das durch den Einlass **3** eingeleitete Gasgemisch wird zunächst durch das erste Katalysatorbett **10**, dann durch das zweite Katalysatorbett **20** und schließlich durch das dritte Katalysatorbett **30** zum Auslass **4** geleitet. Dabei wird das aus dem ersten Katalysatorbett **10** ausströmende Gasgemisch in dem ersten Wärmetauscher **11** abgekühlt. Das aus dem zweiten Katalysatorbett **20** ausströmende Gasgemisch wird in dem zweiten Wärmetauscher **21** abgekühlt. Ferner wird das aus dem dritten Katalysatorbett **30** in Richtung des Auslasses **4** ausströmende Gasgemisch in dem dritten Wärmetauscher **31** abgekühlt.

[0038] Der vorstehend beschriebene Reaktor **1** zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemischs, insbesondere zur katalytischen Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch umfassend im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff, umfasst einen Druckbehälter **2**, welcher einen Einlass **3** für das Gasgemisch und einen Auslass **4** für das Reaktionsprodukt aufweist. Ferner weist der Reaktor **1** ein erstes Katalysatorbett **10**, ein zweites Katalysatorbett **20** und ein drittes Katalysatorbett **30** auf, welche derart angeordnet sind, dass das durch den Einlass **3** eingeleitete Gasgemisch zunächst durch das erste Katalysatorbett **10**, dann durch das zweite Katalysatorbett **20** und schließlich durch das dritte Katalysatorbett **30** zum Auslass **4** geleitet wird. Darüber hinaus ist ein erster Wärmetauscher **11** zum Abkühlen des aus dem ersten Katalysatorbett **10** ausströmenden Gasgemischs und ein zweiter Wärmetauscher **21** zum Abkühlen des aus dem zweiten Katalysatorbett **20** ausströmenden Gasgemischs vorgesehen. Der Reaktor **1** umfasst zudem einen dritten Wärmetauscher **31** zum Abkühlen des aus dem dritten Katalysatorbett **30** in Richtung des Auslasses **4** ausströmenden Gas-

gemischs, wodurch die Austrittstemperatur des aus dem Reaktor **1** austretenden Reaktionsprodukts abgesenkt wird.

Bezugszeichenliste

1	Reaktor
2	Druckbehälter
2.1	Reaktionsbereich
3	Einlass
4	Auslass
5	Rohr
6	erster Steuereinlass
7	zweiter Steuereinlass
8	dritter Steuereinlass
9	Bypass-Leitung
10	erstes Katalysatorbett
11	erster Wärmetauscher
12	Wärmetauscherrohr
13	Umlenkblech
20	zweites Katalysatorbett
21	zweiter Wärmetauscher
22	Wärmetauscherrohr
23	Umlenkblech
30	drittes Katalysatorbett
31	dritter Wärmetauscher
32	U-Rohr
33	Umlenkblech
34	Mantelraum
40	Temperatursensor
50	Zentralrohr
60	Einsatz
Z	Zylinderachse

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102006061847 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Reaktor zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemischs, insbesondere zur katalytischen Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch umfassend im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff,

– mit einem Druckbehälter (2), welcher einen Einlass (3) für das Gasgemisch und einen Auslass (4) für das Reaktionsprodukt aufweist,

– mit einem ersten Katalysatorbett (10), einem zweiten Katalysatorbett (20) und einem dritten Katalysatorbett (30), welche derart angeordnet sind, dass das durch den Einlass (4) eingeleitete Gasgemisch zunächst durch das erste Katalysatorbett (10), dann durch das zweite Katalysatorbett (20) und schließlich durch das dritte Katalysatorbett (30) zum Auslass (4) geleitet wird,

– mit einem ersten Wärmetauscher (11) zum Abkühlen des aus dem ersten Katalysatorbett (10) ausströmenden Gasgemischs und

– mit einem zweiten Wärmetauscher (21) zum Abkühlen des aus dem zweiten Katalysatorbett (20) ausströmenden Gasgemischs,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Reaktor (1) einen dritten Wärmetauscher (31) zum Abkühlen des aus dem dritten Katalysatorbett (30) in Richtung des Auslasses (4) ausströmenden Gasgemischs aufweist.

2. Reaktor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Katalysatorbett (10), das zweite Katalysatorbett (20) und das dritte Katalysatorbett (30) in einem zylindrischen Reaktionsbereich (2.1) des Druckbehälters (2) angeordnet sind, wobei der Druckbehälter (2) ein entlang einer Zylinderachse (Z) des Reaktionsbereichs (2.1) verlaufendes Zentralrohr (50) aufweist, über welches der Einlass (3) des Druckbehälters (2) mit dem dritten Wärmetauscher (31) verbunden ist.

3. Reaktor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Zentralrohr (50) durch eine zentrale Ausnehmung des ersten Wärmetauschers (11) und eine zentrale Ausnehmung des zweiten Wärmetauschers (21) verläuft.

4. Reaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Wärmetauscher (11), der zweite Wärmetauscher (21) und der dritte Wärmetauscher (31), insbesondere über Leitungen (5), derart miteinander verbunden sind, dass das Gasgemisch ausgehend von dem dritten Wärmetauscher (31) durch den zweiten Wärmetauscher (21) in den ersten Wärmetauscher (11) geleitet wird.

5. Reaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das dritte Katalysatorbett (30) hohlzylindrisch ausgebildet ist,

wobei der dritte Wärmetauscher (31) von dem dritten Katalysatorbett (30) konzentrisch umgeben ist.

6. Reaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der dritte Wärmetauscher (31) als Rohr-Wärmetauscher, insbesondere als U-Rohr-Wärmetauscher, ausgebildet ist.

7. Reaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der dritte Wärmetauscher (31) über eine Bypass-Leitung (9) mit einem Steuereinlass (8) des Druckbehälters (2) verbunden ist.

8. Reaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Katalysatorbett (10), das zweite Katalysatorbett (20) und das dritte Katalysatorbett (30) derart innerhalb des Druckbehälters (2) angeordnet sind, dass sie von dem Gasgemisch in einer radialen Strömungsrichtung durchströmbar sind.

9. Einsatz für einen Druckbehälter (2) eines Reaktors (1) zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemischs, insbesondere zur katalytischen Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch umfassend im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff,

– mit einem ersten Katalysatorbett (10), einem zweiten Katalysatorbett (20) und einem dritten Katalysatorbett (30), welche derart angeordnet sind, dass das durch einen Einlass (3) des Druckbehälters (2) eingeleitete Gasgemisch zunächst durch das erste Katalysatorbett (10), dann durch das zweite Katalysatorbett (20) und schließlich durch das dritte Katalysatorbett (30) zum Auslass (4) geleitet wird,

– mit einem ersten Wärmetauscher (11) zum Abkühlen des aus dem ersten Katalysatorbett (10) ausströmenden Gasgemischs und

– mit einem zweiten Wärmetauscher (21) zum Abkühlen des aus dem zweiten Katalysatorbett (20) ausströmenden Gasgemischs,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Einsatz (60) einen dritten Wärmetauscher (31) zum Abkühlen des aus dem dritten Katalysatorbett (30) in Richtung eines Auslasses (4) des Druckbehälters (2) ausströmenden Gasgemischs aufweist.

10. Verfahren zur katalytischen Umsetzung eines Gasgemischs, insbesondere zur katalytischen Ammoniaksynthese aus einem Gasgemisch umfassend im Wesentlichen Stickstoff und Wasserstoff, in einem Reaktor (1) mit einem Druckbehälter (2),

– wobei das Gasgemisch durch einen Einlass (3) des Druckbehälters (2) eingeleitet wird und das Reaktionsprodukt durch einen Auslass (4) des Druckbehälters (2) abgezogen wird,

– wobei das durch den Einlass (3) eingeleitete Gasgemisch zunächst durch das erste Katalysatorbett (10), dann durch das zweite Katalysatorbett (20) und

schließlich durch das dritte Katalysatorbett (30) zum Auslass (4) geleitet wird,
– wobei das aus dem ersten Katalysatorbett (10) ausströmende Gasgemisch in einem ersten Wärmetauscher (11) abgekühlt wird und
– wobei das aus dem zweiten Katalysatorbett (20) ausströmende Gasgemisch in einem zweiten Wärmetauscher (21) abgekühlt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
das aus dem dritten Katalysatorbett (30) in Richtung des Auslasses (4) ausströmende Gasgemisch in einem dritten Wärmetauscher (31) abgekühlt wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

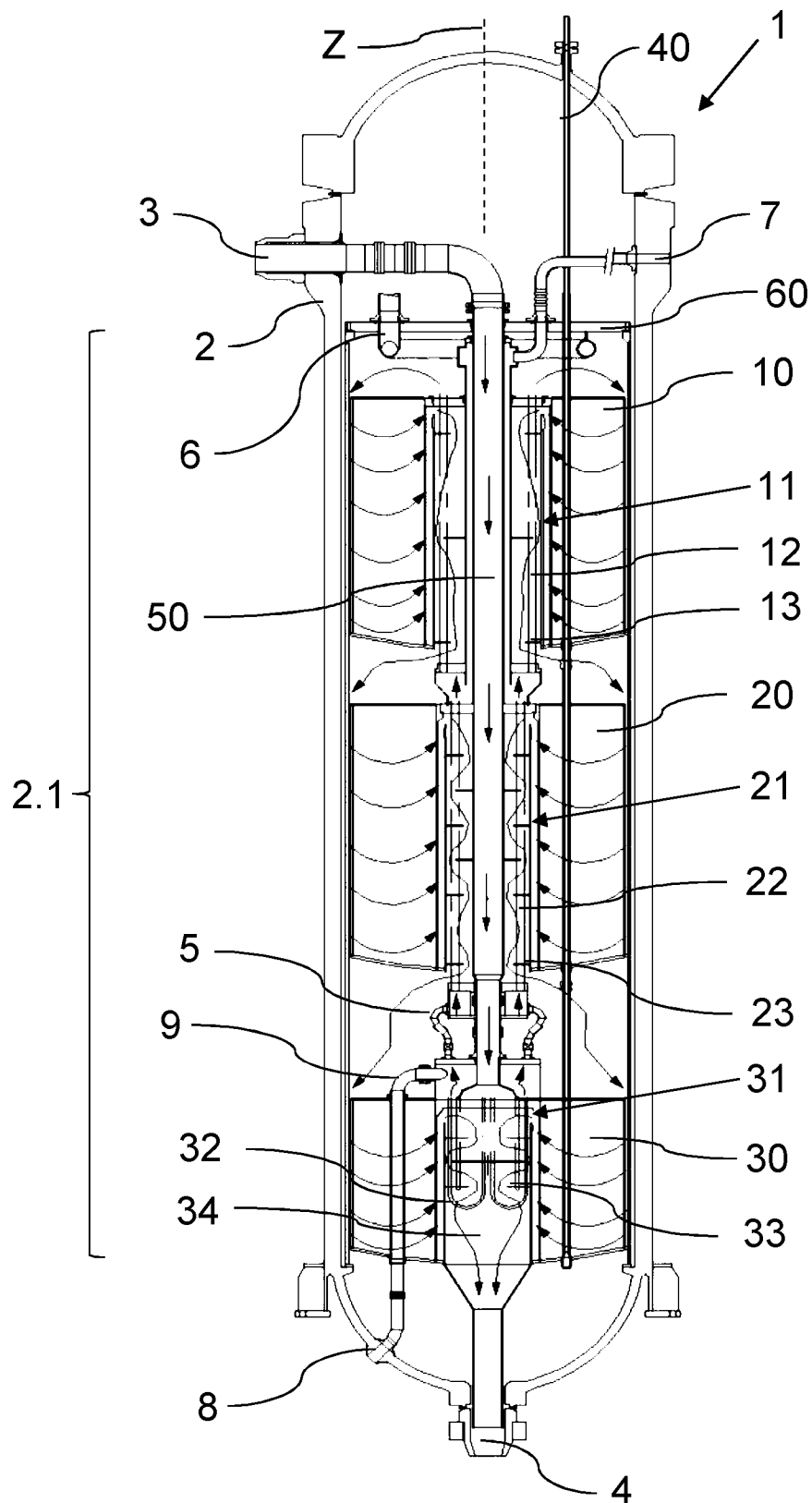


Fig. 1