

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
23. Januar 2020 (23.01.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/016183 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
C01B 32/312 (2017.01) C01B 32/39 (2017.01)  
C01B 32/336 (2017.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/069021
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
15. Juli 2019 (15.07.2019)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2018 117 674.0  
20. Juli 2018 (20.07.2018) DE
- (71) Anmelder: **CONCORD BLUE PATENT GMBH**  
[DE/DE]; Königsallee 6 - 8, 40212 Düsseldorf (DE).
- (72) Erfinder: **THANNHÄUSER, Christopher**; Königsallee 6 - 8, 40212 Düsseldorf (DE).
- (74) Anwalt: **WALLINGER RICKER SCHLOTTER TOSTMANN**; Patent- und Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, Zweibrückenstraße 5-7, 80331 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING ACTIVE CARBON

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG VON AKTIVKOHLE

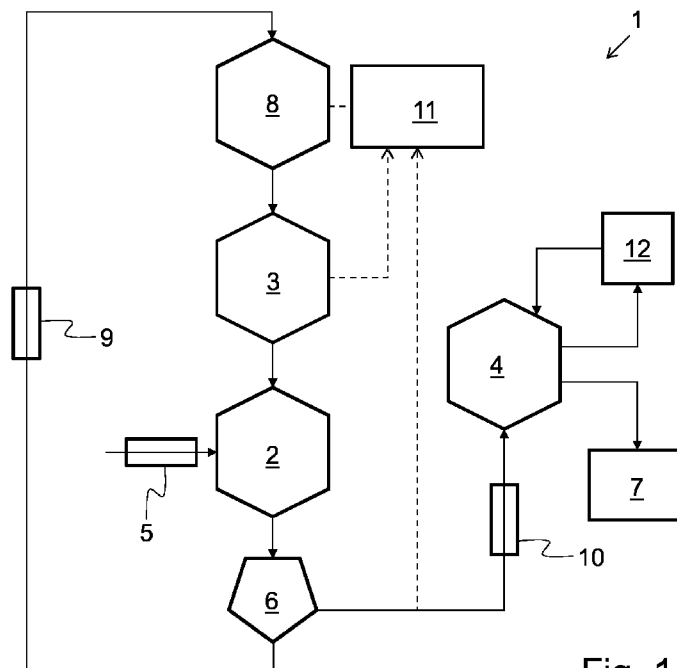


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method and to a device for producing active carbon in a gasification process. The first process step comprises thermal decomposition of a carbon-containing raw material, in particular biomass, in a first reaction zone, producing pyrolysis coke and pyrolysis gas, wherein at least part of the pyrolysis gas produced is transferred out of the first reaction zone into a second reaction zone, and at least part of the pyrolysis coke is transferred out of the first reaction zone into a third reaction zone. A second process step comprises production of a product gas that can be used to activate the pyrolysis coke from the pyrolysis gas in the second reaction zone, wherein the product gas is transferred into the third reaction zone. The third process step comprises activation of at least part of the pyrolysis coke to form active carbon with the aid of the product gas in the third reaction zone.



WO 2020/016183 A1

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Aktivkohle in einem Vergasungsprozess. Eine erste Prozessstufe weist ein thermisches Zersetzen eines kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterials, insbesondere von Biomasse, in einer ersten Reaktionszone unter Erzeugung von Pyrolysekoks und Pyrolysegas auf, wobei zumindest ein Teil des erzeugten Pyrolysegases aus der ersten Reaktionszone in eine zweite Reaktionszone und zumindest ein Teil des Pyrolysekokes aus der ersten Reaktionszone in eine dritte Reaktionszone überführt wird. Eine zweite Prozessstufe weist ein Erzeugen eines zur Aktivierung des Pyrolysekokes einsetzbaren Produktgases aus dem Pyrolysegas in der zweiten Reaktionszone auf, wobei das Produktgas in die dritte Reaktionszone überführt wird. Eine dritte Prozessstufe weist ein Aktivieren zumindest eines Teils des Pyrolysekokes zu Aktivkohle mithilfe des Produktgases in der dritten Reaktionszone auf.

## VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG VON AKTIVKOHLE

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Aktivkohle in einem Vergasungsprozess.

Aufgrund von begrenzter Ressourcenverfügbarkeit und stetig wachsendem Energiebedarf werden Abfallstoffe in zunehmendem Maße wiederverwertet. Dabei gibt es verschiedene Ansätze, diese Abfallstoffe, beispielsweise Biomasse, Plastikmüll, Restmüll und/oder dergleichen, nachhaltig zu recyceln. So sind etwa Pyrolyseverfahren bekannt, welche die Erzeugung von sauberer, erneuerbarer Energie aus Abfallstoffen erlauben. Bei der thermischen Zersetzung von organischen Stoffen können dabei isolierte gasförmige Bestandteile beispielsweise aufbereitet und als so genanntes Produktgas zur Energiegewinnung verbrannt oder stofflich verwertet werden. Der Energiegehalt weiterer, bei der Zersetzung der Abfallstoffe oder beim Aufbereiten der gasförmigen Bestandteile abfallender Nebenprodukte kann dabei zur Aufrechterhaltung der Zersetzung oder der Aufbereitung eingesetzt werden, etwa indem die weiteren Nebenprodukte verbrannt werden und die dabei gewonnene Wärmeenergie zur thermischen Zersetzung der organischen Stoffe verwendet wird. Alternativ können solche Nebenprodukte aber auch extern weiter aufbereitet und anderweitig stofflich verwertet werden.

Aus DE 199 36 524 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur thermolytischen Aufarbeitung von polymer- und zellulosehaltigen Stoffen, insbesondere Shredderleichtgut, bekannt. Die polymer- und zellulosehaltigen Stoffe werden, gemeinsam mit einer stickstoffhaltigen Zuschlagstoff-Katalysator-Mischung, einem beheizten Hauptreaktor zugeführt und durch Erhitzung auf eine Temperatur von 350 bis 600°C in Schwelkoks und Schwelgas zersetzt. Der Schwelkoks wird in einem Nachbehandlungsreaktor bei Temperaturen von 360 bis 600°C mit dem Schwelgas behandelt, weiter entgast und durch den im Schwelgas enthaltenen Wasserdampf aktiviert.

- 2 -

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, die Verwertung von Abfallstoffen weiter zu verbessern und insbesondere effizienter zu machen.

Die Lösung dieser Aufgabe wird gemäß der Lehre der unabhängigen Ansprüche erreicht. Verschiedene Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Aktivierung von Aktivkohle innerhalb eines Vergasungsprozesses, aufweisend: (i) eine erste Prozessstufe, aufweisend ein thermisches Zersetzen eines kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterials, insbesondere von Biomasse, in einer ersten Reaktionszone unter Erzeugung von Pyrolysekoks und Pyrolysegas; (ii) Überführen von zumindest einem Teil des erzeugten Pyrolysegases aus der ersten Reaktionszone in eine zweite Reaktionszone und Überführen zumindest eines Teils des Pyrolysekokes aus der ersten Reaktionszone in eine dritte Reaktionszone; (iii) eine zweite Prozessstufe, aufweisend ein Erzeugen eines zur Aktivierung des Pyrolysekokes einsetzbaren Produktgases aus dem Pyrolysegas in der zweiten Reaktionszone; (iv) Überführen des Produktgases in die dritte Reaktionszone; und (v) eine dritte Prozessstufe, aufweisend ein Aktivieren zumindest eines Teils des Pyrolysekokes zu Aktivkohle mithilfe des Produktgases in der dritten Reaktionszone.

Im Gegensatz zu konventionellen Verfahren, in denen der in der ersten Prozessstufe beim thermischen Zersetzungsprozess des Ausgangsmaterials zurückbleibende Pyrolysekoks mitverbrannt wird oder ausgeschleust und zur Bereitstellung des Wärmebedarfs des Zersetzungsprozesses, etwa in einem Mehrkomponenten-Brenner, verfeuert wird, kann der Pyrolysekoks erfindungsgemäß aufbereitet und als Aktivkohle mit einem breiten Anwendungsspektrum eingesetzt werden. Die Aufbereitung findet dabei vorzugsweise unmittelbar nach der Erzeugung des Produktgases in der zweiten Prozessstufe, d.h. nach einer Aufbereitung des Pyrolysegases, in einer dritten Prozessstufe statt. Man kann deshalb auch von einem integrierten Aktivierungsprozess sprechen.

- 3 -

Dadurch erlaubt die Erfindung vorteilhaft die gekoppelte, insbesondere die zu-  
mindest im Wesentlichen gleichzeitige, Erzeugung eines energiereichen Pro-  
duktgases, welches beispielsweise zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung ver-  
feuert werden kann, und von Aktivkohle, die anderweitig, beispielsweise als Ad-  
5 sorptionsmittel zur Filterung oder als Trägermaterial von Katalysatoren, verwen-  
det werden kann. Die erfindungsgemäße Erzeugung der Aktivkohle ist dabei  
besonders effizient, da hierzu, im Gegensatz zu konventionellen Ansätzen, das  
vorzugsweise unmittelbar zuvor erzeugte Produktgas eingesetzt wird. Dadurch  
ist es nicht notwendig, in aufwändigen und energieintensiven externen Prozes-  
10 sen eine separate Aktivierung des bei der Erzeugung des Produktgases aus  
dem Ausgangsmaterial anfallenden Pyrolysekokes vorzunehmen.

Die physikalische Aktivierung der Aktivkohle kann erfindungsgemäß besonders  
zuverlässig und effizient erfolgen, da das Produktgas nach der zweiten Prozess-  
stufe, d.h. nach der separaten Aufbereitung des Pyrolysegases in der zweiten  
15 Reaktionszone, reich an Gaskomponenten ist, die ein hohes Aktivierungspoten-  
zial aufweisen, beispielsweise Wasserdampf und/oder Kohlendioxid. Die Aufbe-  
reitung beinhaltet zu diesem Zweck z.B. eine Dampfreformierung. Damit entfällt  
die, in der Regel energieintensive, separate bzw. externe Bereitstellung eines  
speziell zur Aktivierung ausgelegten Aktivierungsgases.

Zudem kann die im Produktgas enthaltene Wärmeenergie, welche in konventio-  
nellen Verfahren ungenutzt bleibt, im Rahmen der Aktivierung verwertet werden  
und in dieser Weise die Aktivierung ermöglichen oder zumindest unterstützen.  
Die Bereitstellung weiterer, zur Aktivierung notwendiger Energie kann somit  
überflüssig gemacht oder zumindest reduziert werden. Die Erfindung ermöglicht  
25 daher eine besonders effiziente, insbesondere mehrstufige, Nutzung des Pro-  
duktgases.

Insgesamt erlaubt die Erfindung eine verbesserte, insbesondere effizientere,  
Verwertung von kohlenstoffhaltigem Ausgangsmaterial, insbesondere Biomasse.

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung und deren Weiterbildungen beschrieben, die jeweils, soweit dies nicht ausdrücklich ausgeschlossen wird, beliebig miteinander sowie mit den im Weiteren beschriebenen Aspekten der Erfindung kombiniert werden können.

5 In einigen Ausführungsformen wird die zur Aktivierung des Pyrolysekokes notwendige Wärmeenergie, zumindest teilweise, vorzugsweise ausschließlich, durch das Produktgas bereitgestellt. Das Pyrolysekoks muss in diesem Fall nicht oder nur geringfügig separat auf eine Aktivierungstemperatur aufgeheizt werden, sondern kann zumindest teilweise, vorzugsweise ausschließlich, durch das Pro-  
10 duktgas aufgewärmt werden. Dazu kann das Pyrolysekoks in thermischer Isolation aktiviert werden, z.B. in einer thermisch isolierten dritten Reaktionszone, so dass die von dem Produktgas bereitgestellte Wärmeenergie in der dritten Reaktionszone nicht oder zumindest nur geringfügig dissipiert. Dies ermöglicht eine besonders effiziente Erzeugung von Aktivkohle aus dem in der ersten Prozess-  
15 stufe erzeugten Pyrolysekoks.

Durch die separate Erzeugung des Produktgases in der zweiten Reaktionszone, vorzugsweise im Rahmen einer homogenen Gasphasenreaktion, insbesondere einer Dampfreformierung, kann das Produktgas ein für die physikalische Aktivierung des Pyrolysekokes besonders geeignetes Temperaturniveau aufweisen.  
20 Beispielsweise kann die Reformierung des Pyrolysegases bei ca. 950 C erfolgen, so dass die im Produktgas enthaltene, insbesondere im Rahmen der zweiten Prozessstufe zugeführte, Wärmeenergie ausreicht, um die Aktivierung zu bewirken. Daher ist es in der Regel nicht notwendig, zusätzliche Wärme in der dritten Reaktionszone bereitzustellen.

25 Alternativ oder zusätzlich kann jedoch auch zumindest ein Teil der zur Aktivierung notwendigen Wärmeenergie auch anderweitig in die dritte Reaktionszone eingebracht werden, etwa über eine externe Beheizung. Beispielsweise ist es denkbar, einen Teil des Pyrolysekokes zu verfeuern und die dabei erzeugte Wärme der dritten Reaktionszone zuzuführen. Dies reduziert zwar die erzeugba-

re Menge an Aktivkohle, erlaubt aber eine besonders stabile Aktivierungstemperatur in der dritten Reaktionszone und daher eine besonders zuverlässige Aktivierung des der dritten Reaktionszone zugeführten Pyrolysekokes, d.h. eine besonders hohe Aktivierungseffizienz.

- 5 In einigen Ausführungsformen wird der Pyrolysekoks bei einer Aktivierungstemperatur aktiviert, die von einer Erzeugungstemperatur bei der Erzeugung des Produktgases abhängt, insbesondere, zumindest im Wesentlichen, von der Erzeugungstemperatur definiert wird. Insbesondere kann die Aktivierungstemperatur der Erzeugungstemperatur, zumindest im Wesentlichen, entsprechen. Zu  
10 diesem Zweck kann die dritte Reaktionszone in der Nähe, insbesondere unmittelbar neben, der zweiten Reaktionszone angeordnet sein, so dass eine kurze gasleitende Verbindung zur Überführung des Produktgases zwischen der zweiten und dritten Reaktionszone herstellbar ist bzw. besteht. Vorzugsweise ist die gasleitende Verbindung dabei thermisch isoliert, um Dissipation von Wärme  
15 während der Überführung zu vermeiden oder zumindest zu verringern. Dadurch ist es möglich, die Aktivierungsbedingungen in der dritten Reaktionszone durch Einstellen der Erzeugungstemperatur, d.h. der Bedingungen beim Erzeugen des Produktgases aus dem Pyrolysegas, zu steuern. Dies vereinfacht die Realisierung des Gesamtprozesses.
- 20 Die Aktivierungstemperatur in der dritten Reaktionszone ist in bevorzugter Weise an die Erzeugungstemperatur in der zweiten Reaktionszone derart gekoppelt, dass die Aktivierungstemperatur 100°C oder weniger, vorzugsweise 50°C oder weniger, insbesondere 25°C oder weniger, unterhalb der Erzeugungstemperatur liegt. Dies erlaubt eine besonders effiziente Nutzung der bei der Erzeugung des  
25 Produktgases aus dem Pyrolysekoks eingesetzten Energie.

In einigen Ausführungsformen wird das Produktgas bei einer Erzeugungstemperatur erzeugt, die zwischen 700 und 1200°C, vorzugsweise zwischen 800 und 1000°C, insbesondere zwischen 925 und 975°C, liegt. Diese Erzeugungstemperatur ermöglicht, neben einer zuverlässigen, insbesondere zumindest im We-

- 6 -

5 sentlichen vollständigen, Umwandlung des Pyrolysegases in Produktgas, auch eine besonders schnelle und/oder zuverlässige, insbesondere zumindest im Wesentlichen vollständige, Umsetzung des Pyrolysekokes in der dritten Reaktionszone. Unter einer vollständigen Umsetzung des Pyrolysekokes ist hierbei und im Folgenden insbesondere eine gleichmäßige Aktivierung des Pyrolysekokes zu Aktivkohle zu verstehen.

10 Das Pyrolysegas kann in der zweiten Reaktionszone zum Erreichen der Erzeugungstemperatur einem Wärmetauschprozess unterzogen werden, bei dem in bevorzugter Weise Wärmeenergie von einem Feststoff, etwa einem Wärmeträgermedium, auf das Pyrolysegas übertragen wird. Insbesondere kann dabei zusätzliche Wärmeenergie eingebracht werden, bis die gewünschte Erzeugungstemperatur erreicht ist.

15 Beispielsweise kann die Erzeugungstemperatur erreicht werden, indem ein auf eine definierte Temperatur vorgeheiztes Wärmeträgermedium, insbesondere aus formbeständigen Partikeln wie etwa Stahlkugeln, in die zweite Reaktionszone eingebracht wird. Das Wärmeträgermedium kann die zweite Reaktionszone in Form eines Wanderbetts passieren, wobei es von dem aus der ersten Reaktionszone in die zweite Reaktionszone überführten Pyrolysegas, vorzugsweise in Gegenstromrichtung, durchströmt werden kann. Das Pyrolysegas wird dabei in  
20 das Produktgas umgewandelt. Dabei kann die Temperatur des erzeugten Produktgases zuverlässig eingestellt werden.

In einigen Ausführungsformen wird dem Pyrolysegas Wasserdampf zugegeben, mit dessen Hilfe das Produktgas in der zweiten Reaktionszone erzeugt wird. Auf diese Weise kann eine Dampfreformierung des Pyrolysegases erreicht werden.  
25 Die Menge des zugegebenen Wasserdampfs kann dabei insbesondere so gewählt werden, dass das erzeugte Produktgas dadurch einen hohen Wasserdampfgehalt, etwa von mehr als 15 Vol.%, insbesondere von mehr als 25 Vol.%, aufweist, wodurch langkettige Kohlenwasserstoffmoleküle im Produktgas vorzugsweise vollständig in kurzkettige Moleküle thermisch zersetzt werden kön-

- 7 -

nen. Das so erzeugte Produktgas kann nicht nur vorteilhaft zur Energiegewinnung verbrannt werden, sondern der Pyrolysekoks in der dritten Prozessstufe kann auch besonders zuverlässig, insbesondere zumindest im Wesentlichen vollständig, in Aktivkohle umgewandelt werden.

- 5 Vorzugsweise wird der Wasserdampf dazu in die erste Reaktionszone eingeführt. Dies ermöglicht eine Verbesserung der konvektiven Wärmeübertragung und/oder einer gute Vermischung von Pyrolysegas und Wasserdampf.

Alternativ kann der Wasserdampf aber auch in die zweite Reaktionszone eingeführt werden. Dies ermöglicht eine besonders gezielte Vermischung von Pyrolysegas und Wasserdampf, insbesondere bei einer gegenüber einer in der ersten Reaktionszone herrschenden Pyrolysetemperatur erhöhten, für eine Wasserdampfreformierung besonders günstigen Erzeugungstemperatur.

10

Der Wasserdampf wird zu diesem Zweck vorzugsweise außerhalb der ersten und/oder zweiten Reaktionszone bereitgestellt, z.B. in einem Dampferzeuger hergestellt, und in die erste Reaktionszone eingeführt. Dadurch kann die Temperaturführung in der ersten Reaktionszone erleichtert bzw. die Temperatur stabil gehalten werden. Alternativ kann aber auch Wasser in die erste bzw. zweite Reaktionszone eingeführt werden, welches aufgrund der in der ersten bzw. zweiten Reaktionszone herrschenden Pyrolysetemperatur in Wasserdampf umgewandelt wird. Insbesondere kann der Wasserdampf zumindest teilweise im kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterial, insbesondere in der Biomasse, enthalten sein und bei der thermischen Zersetzung freigesetzt werden. Dadurch kann die zur thermischen Zersetzung des Ausgangsmaterials bzw. zur Erzeugung des Produktgases eingesetzte Energie besonders effizient genutzt werden.

15

20

- 25 In einigen Ausführungsformen wird der Wasserdampf in der Weise zugegeben und/oder die Erzeugungstemperatur in der Weise gewählt, dass das Produktgas zumindest eines der folgenden aufweist: (i) einen Wasserdampfgehalt zwischen 15 und 45 Vol.%, vorzugsweise zwischen 20 und 40 Vol.%, insbesondere etwa

- 8 -

30 Vol.%; (ii) einen Kohlendioxidgehalt zwischen 5 und 30 Vol.%, vorzugsweise zwischen 10 und 20 Vol.%, insbesondere etwa 15 Vol.%; und/oder (iii) einen Kohlenmonoxidanteil zwischen 10 und 30 Vol.%, vorzugsweise zwischen 15 und 25 Vol.%, insbesondere etwa 20 Vol.%. Dadurch kann sichergestellt werden, dass das erzeugte Produktgas einerseits effizient zur Energieerzeugung verbrennbar, andererseits zur besonders zuverlässigen, insbesondere zumindest im Wesentlichen vollständigen, Umsetzung des Pyrolysekokes einsetzbar ist. Denn der im Produktgas bevorzugt enthaltene Wasserdampf und das im Produktgas bevorzugt enthaltene Kohlendioxid weisen beide, jeweils einzeln oder in Kombination miteinander, ein Aktivierungspotenzial bezüglich der Aktivierung von Pyrolysekoks auf, wobei die Bereichsangaben unter (i) und (ii) besonders vorteilhaften Gaseigenschaften für die Aktivierung entsprechen. Das im Produktgas bevorzugt ebenfalls enthaltene Kohlenmonoxid ermöglicht, insbesondere im unter (iii) angegebenen Bereich, die Erzeugung von besonders reiner Aktivkohle aus dem Pyrolysekoks.

Die Zugabe des Wasserdampfs und/oder die Erzeugungstemperatur werden in bevorzugter Weise derart geregelt, dass sich zumindest eine der vorgenannten, unter (i) bis (iii) genannten Eigenschaften des Produktgases einstellen. Mit anderen Worten kann durch eine geregelte Zugabe des Wasserdampfs und/oder eine Regelung der Erzeugungstemperatur z.B. durch dosierte Zuführung des vorgeheizten Wärmeträgermediums, die Zusammensetzung des Produktgases eingestellt werden.

Dabei wird vorzugsweise die Menge des zugegebenen Wasserdampfs geregelt und/oder der Zeitpunkt der Zugabe auf die gewünschten Eigenschaften des Produktgases abgestimmt. Die Regelung der Erzeugungstemperatur kann das Halten der Temperatur für eine vorbestimmte Zeitdauer und alternativ oder zusätzlich das Fahren von Temperaturrampen beinhalten. Die Erzeugung des Produktgases in der zweiten Reaktionszone kann dadurch präzise auf die Aktivierung des Pyrolysekokes in der dritten Reaktionszone abgestimmt werden.

Durch die Zugabe von Wasserdampf und/oder die Wahl der Erzeugungstemperatur können in der zweiten Reaktionszone Produktionsbedingungen eingestellt werden, welche die Erzeugung eines besonders teearmen Produktgases erlauben, wodurch nachfolgend Aktivkohle von hoher Qualität erzeugt werden kann.

- 5 In einigen Ausführungsformen wird zumindest ein Teil des Wasserdampfs bereits in der ersten Reaktionszone bei der thermischen Zersetzung zugegeben, so dass teilaktivierter Pyrolysekoks erzeugt wird, der in der dritten Reaktionszone mithilfe des Produktgases zumindest überwiegend, bevorzugt zumindest im Wesentlichen vollständig, aktiviert wird. Der Aktivierungsprozess in der dritten  
10 Reaktionszone durch das Produktgas wird so erleichtert und kann dementsprechend besonders zuverlässig durchgeführt werden.

Der Wasserdampf kann beispielsweise gemeinsam, insbesondere zeitgleich, mit dem kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterial in die erste Reaktionszone zugeführt werden. Gegebenenfalls kann auch Wasser mit dem Ausgangsmaterial in die  
15 erste Reaktionszone eingeführt werden, welches dann verdampft. Dadurch kann sichergestellt werden, dass der Wasserdampf unmittelbar mit den Zersetzungsprodukten des Ausgangsmaterials in Kontakt tritt.

In einigen Ausführungsformen wird der Pyrolysekoks mithilfe des zugegebenen Wasserdampfs in der ersten Reaktionszone bei einer Temperatur teilaktiviert, die durch eine Pyrolysetemperatur, bei der das Ausgangsmaterial thermisch zersetzt wird, definiert wird, insbesondere der Pyrolysetemperatur entspricht, oder zumindest von der Pyrolysetemperatur abhängt. Vorzugsweise wird der Wasserdampf in der ersten Reaktionszone zu diesem Zweck unterhalb des  
20 Ausgangsmaterials zugeführt, so dass er das Ausgangsmaterial bei dessen thermischer Zersetzung um- bzw. durchströmt, bevor er sich mit dem dabei entstehenden Pyrolysegas vermischt und in die zweite Reaktionszone überführt wird. Dadurch kühlt der Pyrolysekoks bis zur Teilaktivierung nicht aus, und es  
25 wird eine besonders umfassende Teilaktivierung des Pyrolysekoks ermöglicht.

In einigen Ausführungsformen wird das Ausgangsmaterial in der ersten Reaktionszone bei einer Pyrolysetemperatur zersetzt, die zwischen 300 und 900°C, vorzugsweise zwischen 600 und 800°C, insbesondere zwischen 650 und 750°C, liegt. Diese Pyrolysetemperatur ermöglicht, neben einer zuverlässigen, insbesondere zumind  
5 est im Wesentlichen vollständigen, Zersetzung des Ausgangsmaterials in Pyrolysekoks und Pyrolysegas, auch eine besonders zuverlässige, insbesondere umfassende, Teilaktivierung des Pyrolysekokes in der ersten Reaktionszone.

Vorteilhaft ist es möglich, durch die Wahl der Pyrolysetemperatur, bei welcher  
10 der Pyrolysekoks teilaktiviert wird, und gegebenenfalls auch durch die Regelung der Zugabe des Wasserdampfes, die Eigenschaften der später in der dritten Reaktionszone erzeugten Aktivkohle zumindest teilweise zu bestimmen. Es ist beispielsweise denkbar, die Teilaktivierung auf die Menge des später zu aktivierenden Pyrolysekokes abzustimmen, damit sichergestellt werden kann, dass  
15 der in der zweiten Reaktionszone erzeugte Produktgasstrom, d.h. die pro Zeiteinheit erzeugte Menge an Produktgas, ausreicht, um den teilaktivierten Pyrolysekoks in der dritten Reaktionszone vollständig in Aktivkohle umzuwandeln.

In einigen Ausführungsformen wird zumindest ein Teil des Pyrolysekokes beim Überführen in die dritte Reaktionszone vorkonditioniert. Insbesondere kann ein  
20 Teil des in der ersten Reaktionszone erzeugten Pyrolysekokes aus der ersten Reaktionszone ausgeschleust und mit einem Bindemittel versetzt werden, bevor er in die dritte Reaktionszone zur Aktivierung eingeführt wird. Alternativ oder zusätzlich kann der ausgeschleuste und gegebenenfalls mit einem Bindemittel versetzte Pyrolysekoks auch in einem Formgebungsschritt in eine vorgegebene  
25 Form überführt, etwa zu Pellets gepresst, werden, bevor er in die dritte Reaktionszone zur Aktivierung eingeführt wird. Der in dieser Weise vorkonditionierte Pyrolysekoks kann in der dritten Reaktionszone besonders effektiv, insbesondere vollständig, aktiviert werden.

In einigen Ausführungsformen wird der Pyrolysekoks in der dritten Reaktionszone während der Aktivierung mit dem Produktgas, zumindest im Wesentlichen, kontinuierlich durchmischt. Dazu kann in der dritten Reaktionszone eine Wirbelschicht aus Produktgas vorgesehen sein, die den Pyrolysekoks durchmischt oder zumindest zu dessen Durchmischung beiträgt. Insbesondere kann das Produktgas dazu in einer Weise in die dritte Reaktionszone eingeführt, insbesondere eingeblasen, werden, dass sich die Wirbelschicht bildet. Alternativ dazu kann der Pyrolysekoks in eine vom Produktgas durchströmbare Trommel aufgenommen und die Trommel zur Durchmischung des Pyrolysekokes, insbesondere des Pyrolysekokes mit dem Produktgas, rotiert werden. Dadurch kann der Pyrolysekoks, zumindest im Wesentlichen, vollständig von Pyrolysegas umströmt werden, so dass zumindest ein Großteil des zu aktivierenden Pyrolysekokes, insbesondere ein Großteil seiner Oberfläche, mit dem Pyrolysegas in Kontakt tritt.

Alternativ oder zusätzlich kann die Durchmischung des Pyrolysekokes auch, zumindest im Wesentlichen, bei der Zuführung des Pyrolysekokes in die dritte Reaktionszone erzielt werden. Es ist beispielsweise denkbar, den Pyrolysekoks in der Weise auf ein Fördermittel der dritten Reaktionszone, insbesondere auf ein Wanderbett, zu schütten, dass sich der Pyrolysekoks im freien Fall, insbesondere mit dem Produktgas, vermischen kann.

In einigen Ausführungen wird das Produktgas im Gegenstrom zum Pyrolysekoks durch die dritte Reaktionszone geleitet. Beispielsweise kann das Produktgas die dritte Reaktionszone entgegen einer Förderrichtung, in welcher der Pyrolysekoks durch die dritte Reaktionszone transportiert wird, durchströmen. Es ist etwa denkbar, das Produktgas ein Fördermittel der dritten Reaktionszone, insbesondere ein Wanderbett eines Wanderbettreaktors, entgegen der Förderrichtung überstreichen zu lassen. Das Leiten des Produktgases im Gegenstrom durch die dritte Reaktionszone ermöglicht eine besonders gute Wärmeübertragung von Produktgas auf Pyrolysekoks innerhalb der dritten Reaktionszone.

- Vorzugsweise wird der Pyrolysekoks der dritten Reaktionszone in einem Eintrittsbereich zugeführt. In einem Austrittsbereich kann die aus den Pyrolysekoks erzeugte Aktivkohle aus der dritten Reaktionszone abgeführt werden. In bevorzugter Weise wird das Produktgas der dritten Reaktionszone über eine Einlassöffnung im Austrittsbereich zugeführt und über eine Auslassöffnung im Eintrittsbereich nach der Aktivierung des Pyrolysekoks wieder abgeführt. Das Produktgas kann dabei über eine Verbindung zwischen der Einlassöffnung und der zweiten Reaktionszone in den Austrittsbereich überführt werden. Die im Austrittsbereich aus der dritten Reaktionszone abgeführte Aktivkohle kommt dadurch noch einmal mit heißem Produktgas in Kontakt, welches insbesondere einen hohen Wasserdampf-, Kohlendioxid- und/oder Kohlenmonoxidgehalt aufweisen kann, wodurch eine, zumindest nahezu, vollständige Umsetzung, insbesondere eine im Wesentlichen gleichmäßige Aktivierung, des Pyrolysekoks sichergestellt werden kann.
- 15 Der im Eintrittsbereich in die dritte Reaktionszone eintretende Pyrolysekoks kann dagegen zunächst mit gegebenenfalls demgegenüber leicht abgekühltem Produktgas in Kontakt kommen, welches gegebenenfalls auch einen demgegenüber verringerten Wasserdampf-, Kohlendioxid- und/oder Kohlenmonoxidgehalt aufweisen kann.
- 20 Alternativ zum Gegenstrom kann das Produktgas aber auch im Gleichstrom oder im Kreuzstrom, d.h. zumindest im Wesentlichen entlang bzw. senkrecht zu einer Transportrichtung des Pyrolysekoks durch die dritte Reaktionszone, durch die dritte Reaktionszone geführt werden.
- 25 In einigen Ausführungsformen wird das Produktgas nach der Aktivierung des Pyrolysekoks durch eine Trenneinrichtung geleitet und dort von Pyrolysekoksrückständen und/oder Aktivkohlerückständen, insbesondere physikalisch, gereinigt. Im Produktgas enthaltene Partikel können beispielsweise durch Ausnutzung der Zentrifugalkraft, etwa in einer als Zyklon konfigurierten Trenneinrichtung, abgeschieden werden. Das gereinigte Produktgas kann, gegebenenfalls

- 13 -

nach weiteren, insbesondere chemischen, Reinigungsschritten zur Energiegewinnung verbrannt oder stofflich verwendet werden.

Die aus dem Produktgasstrom gefilterten Pyrolysekoksrückstände und/oder Aktivkohlerückstände werden vorzugsweise zurück in die dritte Reaktionszone  
5 überführt. Dies erlaubt es, den produzierten Pyrolysekoks vorzugsweise vollständig in Aktivkohle umzusetzen.

In einigen Ausführungsformen wird ein Teil des Pyrolysekoks in einer Heizeinrichtung verfeuert, um ein Wärmeträgermedium aufzuheizen, welches der zweiten Reaktionszone zur Erzeugung des Produktgases und/oder der ersten Reaktionszone zur thermischen Zersetzung des Ausgangsmaterials zugeführt wird.  
10 Vorzugsweise wird dabei der zu verfeuernde Teil des Pyrolysekoks in Abhängigkeit einer durch das erzeugte Produktgas aktivierbaren Menge an Pyrolysekoks bestimmt. Der bei der thermischen Zersetzung erzeugte Pyrolysekoks kann so besonders effizient, insbesondere vollständig, genutzt werden.

15 Alternativ oder zusätzlich ist es auch denkbar, einen Teil des, gegebenenfalls teilaktivierten, Pyrolysekoks auszuschleusen und einer anderweitigen stofflichen Verwertung, etwa als Biokohle, zuzuführen. Vorzugsweise wird dabei der zu auszuschleusende Teil des Pyrolysekoks in Abhängigkeit einer durch das erzeugte Produktgas aktivierbaren Menge an Pyrolysekoks bestimmt. Der bei  
20 der thermischen Zersetzung erzeugte Pyrolysekoks kann so besonders effizient, insbesondere vollständig, genutzt werden.

Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von Aktivkohle, die zum Ausführen eines Verfahrens nach dem ersten Aspekt der Erfindung eingerichtet ist. Eine solche Vorrichtung erlaubt eine alternative oder  
25 zusätzliche stoffliche Verwertung des bei der thermischen Zersetzung des Ausgangsstoffes erzeugten Pyrolysekoks im Gegensatz zu konventionellen Anlagen, in denen der Pyrolysekoks ausschließlich verfeuert wird oder gar ungenutzt bleibt.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung eine erste Reaktionszone auf, in der Pyrolysekoks und Pyrolysegas durch thermische Zersetzung von kohlenstoffhaltigem Ausgangsmaterial, insbesondere Biomasse, erzeugbar ist. Eine zweite Reaktionszone ist mit der ersten Reaktionszone gasleitend verbunden und dazu eingerichtet, aus zumindest einem Teil des Pyrolysegases ein zur Aktivierung des Pyrolysekokes einsetzbares Produktgas zu erzeugen. In einer dritten Reaktionszone, die mit der zweiten Reaktionszone gasleitend verbunden ist, kann zumindest ein Teil des Pyrolysekokes mithilfe des Produktgases zu Aktivkohle verarbeitet werden. Zudem ist eine erste Fördereinrichtung dazu eingerichtet, zumindest einen Teil des Pyrolysekokes aus der ersten Reaktionszone in die dritte Reaktionszone zu überführen.

Die erste und die zweite Reaktionszone sind vorzugsweise mit einem Wärmeträgermedium befüllbar, über welches die zur thermischen Zersetzung notwendige Pyrolysetemperatur bzw. die zur Erzeugung von Produktgas aus dem Pyrolysegas notwendige Erzeugungstemperatur erreicht wird. Die Vorrichtung weist zu diesem Zweck in bevorzugter Weise eine zur Erwärmung des Wärmeträgermediums eingerichtete Aufwärmzone auf, die, insbesondere mittels einer Heizeinrichtung, beheizbar ist. Dabei ist die erste Reaktionszone bevorzugt unterhalb der zweiten Reaktionszone angeordnet, welche wiederum unterhalb der Aufwärmzone angeordnet ist. Das, insbesondere auf die Erzeugungstemperatur, aufgeheizte Wärmeträgermedium kann dann einfach unter Ausnutzung der Schwerkraft in die zweite Reaktionszone überführt werden, wo es vom Pyrolysegas umströmt wird. Das Wärmeträgermedium kühlt dabei weiter bis auf die Pyrolysetemperatur ab und kann dann einfach, ebenfalls unter Ausnutzung der Schwerkraft, in die erste Reaktionszone überführt werden.

Die erste Reaktionszone ist vorzugsweise dazu eingerichtet, das Wärmeträgermedium mit dem kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterial zu vermischen, um eine vollständige thermischen Zersetzung des Ausgangsmaterials sicherzustellen. Nachdem das Ausgangsmaterial in Pyrolysekoks und Pyrolysegas, welches vorzugsweise in die zweite Reaktionszone abzieht, zersetzt wurde, kann der Pyro-

lysekoks von dem Wärmeträgermaterial in einer Trennzone getrennt und mittels der ersten Fördereinrichtung, beispielsweise einer Förderschnecke, in die dritte Reaktionszone überführt werden. Das abgetrennte Wärmeträgermaterial wird bevorzugt mittels einer weiteren, zweiten Fördereinrichtung zurück in die Aufwärmzone transportiert.

Die dritte Reaktionszone kann in bevorzugter Weise als Drehrohrreaktor konfiguriert sein, der eine drehbar gelagerte Trommel aufweist und dazu eingerichtet ist, die Trommel zur Durchmischung des von ihr aufgenommenen Pyrolysekokes zu rotieren. Alternativ kann die dritte Reaktionszone aber auch anderweitig ausgeführt sein, etwa als Wanderbettreaktor mit einem Fördermittel, in dem der mithilfe des Fördermittels transportierte Pyrolysekoks von dem Produktgas überstrichen werden kann.

Die in Bezug auf den ersten Aspekt der Erfindung und dessen vorteilhafte Ausgestaltung beschriebenen Merkmale und Vorteile gelten, zumindest wo technisch sinnvoll, auch für den zweiten Aspekt der Erfindung und dessen vorteilhafte Ausgestaltung sowie umgekehrt.

Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren, in denen durchgängig dieselben Bezugszeichen für dieselben oder einander entsprechende Elemente der Erfindung verwendet werden. Es zeigen, wenigstens teilweise schematisch:

**Fig. 1** ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Erzeugung von Aktivkohle;

**Fig. 2** ein zweites Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Erzeugung von Aktivkohle;

**Fig. 3** ein Ausführungsbeispiel einer zweiten Reaktionszone;

**Fig. 4** ein Ausführungsbeispiel einer dritten Reaktionszone; und

**Fig. 5** ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Erzeugung von Aktivkohle.

**Fig. 1** zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung 1 zur Erzeugung von Aktivkohle mit einer ersten Reaktionszone 2, in der ein kohlenstoffhaltiges Ausgangsmaterial thermisch zersetzbar ist, einer zweiten Reaktionszone 3, in der ein Produktgas aus einem beim thermischen Zersetzen erzeugten Pyrolysegas erzeugbar ist, und einer dritten Reaktionszone 4, in der beim thermischen Zersetzen erzeugter Pyrolysekoks mittels des Produktgases aktivierbar ist. Die Transportwege von Feststoffen, insbesondere feststofflicher Reaktanten oder Produkte, zwischen den einzelnen Komponenten der Vorrichtung 1 sind durch Pfeile angedeutet.

Das kohlenstoffhaltige Ausgangsmaterial, beispielsweise Biomasse bzw. kohlenstoffhaltige Reststoffe, wird vorzugsweise mittels einer Förderanlage 5 aktiv oder passiv, etwa mittels einem Transportband oder einer Förderschnecke bzw. einem abwärts geneigten Schacht, von einem Reservoir in die erste Reaktionszone 2 überführt. Das Reservoir kann dabei von einem Container, einer Lagerhalle und/oder einer Deponie gebildet werden, aus dem bzw. der das Ausgangsmaterial aktiv entnommen wird oder passiv ausfließt oder -rutscht.

Die Förderanlage 5 ist vorteilhaft dazu eingerichtet, das geförderte Ausgangsmaterial vor dem Einführen in die erste Reaktionszone 2 vorzuwärmen, um die thermische Zersetzung in der ersten Reaktionszone 2 zu erleichtern. Alternativ oder zusätzlich kann die erste die Förderanlage 5 auch dazu eingerichtet sein, eine Trocknungseinrichtung zum Trocknen des Ausgangsmaterials mit der ersten Reaktionszone 2 zu verbinden. Des Weiteren ist es denkbar, die Förderanlage 5 als Trocknungseinrichtung auszubilden, so dass das Ausgangsmaterial während des Zuführens zur ersten Reaktionszone 2 getrocknet wird.

Die erste Reaktionszone 2 ist in bevorzugter Weise als von innen beheizbarer, insbesondere zylindrischer, Schacht ausgeführt, in die neben dem Ausgangsmaterial ein Wärmeträgermedium einführbar ist. Das Wärmeträgermedium ist, wie weiter unten beschrieben, vorgeheizt und bewirkt eine Pyrolysetemperatur zwischen 500 und 900°C, vorzugsweise zwischen 600 und 800°C, insbesondere zwischen 650 und 750°C innerhalb der ersten Reaktionszone 2.

Die zweite Reaktionszone 3 ist dabei vorteilhaft oberhalb der ersten Reaktionszone 2 angeordnet, so dass das Wärmeträgermedium unter Ausnutzung der Schwerkraft, d.h. ohne ein aktives Fördermittel, in die erste Reaktionszone 2 eingeführt werden kann.

Beim Einführen des Ausgangsmaterials und Wärmeträgermediums, beispielsweise über jeweils eine im oberen Bereich des Schachtes angeordnete Schleuse, vermischen sich das Ausgangsmaterial und das Wärmeträgermedium in bevorzugter Weise. Dies kann etwa durch simultanes Einführen durch zwei in unmittelbarer Nähe angeordnete Schleusen und/oder durch aufeinander abgestimmtes wechselseitiges, insbesondere sequenzielles, Einführen erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann die erste Reaktionszone 2 jedoch auch eine, insbesondere mechanische, Mischeinrichtung zur Vermischung des Ausgangsmaterials mit dem Wärmeträgermedium aufweisen.

Das, gegebenenfalls vorgewärmte, Ausgangsmaterial wird dadurch auf die Pyrolysetemperatur erhitzt und zersetzt sich thermisch unter der Bildung von Pyrolysekoks und einem Pyrolysegas, wobei letzteres in die zweite Reaktionszone 3 geleitet und dort in ein Produktgas umgewandelt wird, welches wiederum in die dritte Reaktionszone 4 geleitet wird. Details hierzu sind weiter unten im Zusammenhang mit den Figuren 2 und 3 beschrieben.

Der Pyrolysekoks wird, gemeinsam mit dem Wärmeträgermedium, in bevorzugter Weise in eine Trennzone 6 ausgeleitet, um den Pyrolysekoks von dem Wärmeträgermedium zu separieren. Die Trennzone 6 kann dabei unterhalb der ers-

- 18 -

ten Reaktionszone 2 angeordnet sein, so dass das Gemisch aus Pyrolysekoks und Wärmeträgermedium unter Ausnutzung der Schwerkraft von der ersten Reaktionszone 2 in die Trennzone 6 überführt werden kann.

Die Trennzone 6 kann beispielsweise eine mechanische Siebanordnung aufweisen, die zur Siebung eingerichtet ist. Das Wärmeträgermedium, vorzugsweise ein Schüttgut mit formbeständigen Partikeln, etwa Stahlkugeln oder Keramik-  
5 kugeln, mit einer definierten, engen Partikelgrößenverteilung, kann als Grobgut abgezogen werden, während der Pyrolysekoks vorzugsweise als Feingut abgezogen wird. Es ist ebenfalls denkbar, die Trennzone 6 derart zu konfigurieren,  
10 dass eine Windsichtung des Wärmeträgermediums ausführbar ist.

Der vom Wärmeträgermedium getrennte Pyrolysekoks wird mittels einer ersten Fördereinrichtung 10, etwa einer Förderschnecke oder einem anderen, zum Betrieb bei hohen Temperaturen geeigneten Fördermittel, zur dritten Reaktionszone 4 transportiert, wo er mittels des ebenfalls in die dritte Reaktionszone 4 überführten Produktgases in Aktivkohle umgewandelt wird. Die bei der Aktivierung  
15 des Pyrolysekokes notwendige Wärmeenergie wird dabei vorzugsweise von dem Produktgas bereitgestellt, welches als, in bevorzugter Weise kontinuierlicher, Produktgasstrom von der zweiten Reaktionszone 3 durch die dritte Reaktionszone 4 geführt wird. Daher ist die dritte Reaktionszone 4 vorteilhaft in der  
20 Nähe, insbesondere unmittelbar neben, der zweiten Reaktionszone 3 angeordnet, so dass das Produktgas nur einen kurzen Weg zurücklegen muss und dabei nicht oder nur unwesentlich abkühlt. Die erste Fördereinrichtung 10 kann daher insbesondere dazu eingerichtet sein, den Pyrolysekoks aus der ersten Reaktionszone 2, insbesondere aus der Trennzone 6, gegen die Schwerkraft in die  
25 dritte Reaktionszone 4 zu überführen.

Weitere Details zur Aktivierung des Pyrolysekokes in der dritten Reaktionszone 4 sind im Zusammenhang mit Figur 4 erläutert.

Bei der Umwandlung des Pyrolysekokes in Aktivkohle können Pyrolysekoks-  
partikel und/oder Aktivkohlepartikel in den Produktgasstrom gelangen und mit  
dem Produktgas nach der Aktivierung gemeinsam ausgetragen werden. Um  
diese Verunreinigung vor der weiteren Verwendung des Produktgases aus dem  
5 Produktgasstrom wieder zu entfernen, können die Pyrolysekoks- und/oder Aktiv-  
kohlepartikel in einer Trenneinrichtung 12 herausgefiltert werden. Die Trennein-  
richtung 12 ist beispielsweise als Zyklon ausgebildet, in welchem die im Pro-  
duktgas enthaltenen Partikel durch die Zentrifugalkraft abgeschieden werden.  
Gegenüber einer rein chemischen Reinigung des Produktgases hat dies unter  
10 anderem den Vorteil, dass die herausgefilterten Partikel wieder zurück in die  
dritte Reaktionszone 4 überführt werden können.

Die erzeugte Aktivkohle wird anschließend in eine Nachbehandlungseinrich-  
tung 7 überführt, wo die Aktivkohle, beispielsweise mittels einer HCl-Wäsche,  
auf ihre weitere Verwendung vorbereitet wird.

15 Das in der Trennzone 6 von dem Pyrolysekoks separierte Wärmeträgermedium  
wird über eine weitere, zweite Fördereinrichtung 9, etwa einem Becherwerk oder  
einem Behälteraufzug, in eine Aufwärmzone 8 überführt, in der das Wärmeträ-  
germedium auf eine zur Erzeugung des Produktgases aus dem Pyrolysegas  
notwendige oder zumindest vorteilhafte Erzeugungstemperatur gebracht wird.  
20 Dabei kann die zweite Fördereinrichtung 9 dazu eingerichtet sein, dass geförder-  
te Wärmeträgermedium bereits vorzuwärmen, so dass die Erzeugungstempera-  
tur leichter erreicht werden kann.

Da das Wärmeträgermedium in bevorzugter Weise von der Aufwärmzone 8 in  
die zweite Reaktionszone 3 unter Ausnutzung der Schwerkraft überführt werden  
25 soll, ist die Aufwärmzone 8 vorzugsweise oberhalb der zweiten Reaktionszone 3  
angeordnet. Auch die weitere Fördereinrichtung kann daher dazu eingerichtet  
sein, das Wärmeträgermedium gegen die Schwerkraft aus der ersten Reakti-  
onszone 2, insbesondere aus der Trennzone 6, in die Aufwärmzone 8 zu über-  
führen.

- 20 -

Das Wärmeträgermedium durchläuft die Aufwärmzone 8 vorzugsweise von schwerkraftgetrieben als Wanderbett und wird dabei von heißem Rauchgas, insbesondere im Gegenstrom, umströmt. Dadurch kann das Wärmeträgermedium bis auf die Erzeugungstemperatur erhitzt werden. Das heiße Rauchgaskann  
5 beispielsweise mittels einer Heizeinrichtung 11 erzeugt und von der Heizeinrichtung 11 durch eine als gestrichelte Linie angedeutete Verbindung in die Aufwärmzone 8 geleitet werden.

Die Heizeinrichtung 11 kann etwa als Mehrkomponentenbrenner ausgeführt sein, in dem ein oder mehrere verschiedene Brennstoffe verbrannt werden können. Diese Brennstoffe werden bevorzugt außerhalb der Vorrichtung 1 bereitgestellt. In einer Ausführungsform kann der Brennstoff aber, zumindest teilweise, von einem Teil des in der ersten Reaktionszone 2 erzeugten Pyrolysekokes gebildet werden, der, insbesondere nach der Separierung von dem Wärmeträgermedium in der Trennzone 6, abgezogen und der Heizeinrichtung 11, gegebenenfalls mit einem oder mehreren weiteren externen Brennstoffen, zugeführt  
10 wird. Alternativ oder zusätzlich kann in der Heizeinrichtung auch ein Teil des Produktgases verbrannt werden. Diese Möglichkeiten sind durch gestrichelte Pfeile angedeutet.

**Fig. 2** zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung 1 zur Erzeugung von Aktivkohle. Die dargestellte Vorrichtung 1 entspricht im Wesentlichen der in Zusammenhang mit Figur 1 beschriebenen Vorrichtung. Dabei sind jedoch Transportwege von Gasen, insbesondere flüchtigen Reaktanten oder Produkten, zwischen den einzelnen Komponenten der Vorrichtung 1 durch Pfeile angedeutet.  
20

Das der ersten Reaktionszone 2 zugeführte kohlenstoffhaltige Ausgangsmaterial wird unter Erzeugung von Pyrolysekoks und Pyrolysegas thermisch zersetzt und das dabei entstehende Pyrolysegas steigt in bevorzugter Weise in die mit der ersten Reaktionszone 2 gasleitend verbundene zweite Reaktionszone 3 auf. Die gasleitende Verbindung zwischen der ersten und zweiten Reaktionszone 2, 3 ist  
25

- 21 -

dabei vorzugsweise zusätzlich zur im Zusammenhang mit Figur 1 beschriebenen Schleuse, durch die das Wärmeträgermedium aus der zweiten Reaktionszone 3 in die erste Reaktionszone 2 eingeführt wird, vorgesehen, um einen ungehinderten Abfluss des Gases aus der ersten Reaktionszone zu ermöglichen.

5 Das Wärmeträgermedium kann durch die Schleuse dagegen sequenziell bzw. dosiert von der zweiten in die erste Reaktionszone 3, 2 eingebracht werden.

Das Pyrolysegas durchströmt in der zweiten Reaktionszone 3 vorzugsweise eine Schüttung aus Wärmeträgermedium, das auf eine Erzeugungstemperatur zur Erzeugung von Produktgas aus Pyrolysegas, insbesondere zum Cracken von im  
10 Pyrolysegas enthaltenen Teeren, erhitzt ist. Beim Durchströmen des Wärmeträgermediums wird das Pyrolysegas in das Produktgas umgewandelt. Weitere Details zur Erzeugung des Produktgases werden im Zusammenhang mit Figur 3 weiter unten beschrieben.

Um eine vollständige Umwandlung des Pyrolysegases in ein Produktgas, welches zum Aktivieren des Pyrolysekokes in der dritten Reaktionszone 4 einsetzbar ist, sicherzustellen, wird dem Pyrolysegas in bevorzugter Weise Wasserdampf beigemischt. Die Zugabe des Wasserdampfs kann insbesondere in der  
15 ersten Reaktionszone 2 stattfinden, so dass die thermische Zersetzung, d.h. die Umwandlung des kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterials in Pyrolysekoks und Pyrolysegas, unter Anwesenheit von Wasserdampf, insbesondere in einer wasserdampfhaltigen Atmosphäre, stattfinden kann. Dies hat den Vorteil, dass der  
20 Pyrolysekoks bereits teilweise aktiviert wird, so dass er in der dritten Reaktionszone 4 leichter vollständig in Aktivkohle umgewandelt und/oder qualitativ noch höherwertigere Aktivkohle hergestellt werden kann.

25 Das derart in der zweiten Reaktionszone 3 erzeugte, insbesondere teearme und/oder wasserstoffreiche, Produktgas, welches bevorzugt bei der Erzeugungstemperatur zwischen 700 und 1200°C, vorzugsweise zwischen 800 und 1000°C, insbesondere zwischen 925 und 975°C, vorliegt, wird in die mit der zweiten Reaktionszone 3 gasleitend verbundene dritte Reaktionszone 4 geführt. Um sicher-

- 22 -

zustellen, dass die Temperatur des Produktgases bei der Überführung nicht o-  
der zumindest nicht wesentlich absinkt, wird der Transportweg für das Produkt-  
gas zwischen der zweiten und dritten Reaktionszone 3, 4 möglichst kurz gehalten,  
z.B. indem die dritte Reaktionszone 4 unmittelbar neben der zweiten Reak-  
tionszone 3 angeordnet ist. Alternativ oder zusätzlich kann die gasleitende Ver-  
bindung zwischen der zweiten und dritten Reaktionszone 3, 4 thermisch isoliert  
sein.

Um eine einfache Überführung des Produktgases zu ermöglichen, kann die dritte  
Reaktionszone 4 zudem zumindest geringfügig oberhalb der zweiten Reakti-  
onszone 3 angeordnet sein, so dass d.h. Produktgas passiv in die dritte Reakti-  
onszone 4 aufsteigen kann. Alternativ oder zusätzlich ist es aber auch denkbar,  
ein geeignetes aktives Fördermittel, etwa einen Ventilator, vorzusehen, um den  
Produktgasstrom von der zweiten in die dritte Reaktionszone 3, 4 und gegeben-  
enfalls auch den Strom des Pyrolysegases aus der ersten in die zweite Reakti-  
onszone 2, 3 sicherzustellen. Aufgrund der hohen Temperaturen in diesem Be-  
reich der Vorrichtung 1 kann das Fördermittel auch weiter stromabwärts ange-  
ordnet sein, insbesondere stromabwärts der dritten Reaktionszone 4, wo sich  
das Produktgas bereits abgekühlt hat.

In der dritten Reaktionszone 4 tritt das Produktgas mit dem ebenfalls in die dritte  
Reaktionszone 4 überführten Pyrolysekoks in Kontakt, der dadurch zu Aktivkoh-  
le verarbeitet wird. Das Produktgas kann anschließend weiterverwendet werden,  
beispielsweise in einem Blockheizkraftwerk zur Energieerzeugung verfeuert  
werden. Zuvor sollte das Produktgas jedoch noch gereinigt werden, insbesonde-  
re physikalisch durch eine Trenneinrichtung 12, die im Zusammenhang mit Fi-  
gur 1 bereits ausführlich erläutert wurde. Zusätzlich kann eine Reinigungsein-  
richtung 13 vorgesehen sein, die zur weiteren, insbesondere chemischen, Reini-  
gung des Produktgases, gegebenenfalls in Abhängigkeit der beabsichtigten wei-  
teren Verwendung des Produktgases, eingerichtet ist.

- 23 -

Um das Wärmeträgermedium auf die Erzeugungstemperatur zu erhitzen, kann, wie im Zusammenhang mit Figur 1 bereits erläutert, eine Heizeinrichtung 11 vorgesehen sein, die mit der Aufwärmzone 8 wärmeleitend verbunden ist. Die von der Heizeinrichtung 11 erzeugte Wärmeenergie kann insbesondere, gegebenenfalls zusätzlich und/oder zumindest teilweise, in Form von heißen Verbrennungsabgasen in der Aufwärmzone 8 bereitgestellt werden. Die Verbrennungsabgase werden dabei bevorzugt im Gegenstrom zum Wärmeträgermedium, insbesondere durch eine Schüttung des Wärmeträgermediums am Grund der Aufwärmzone 8, geleitet und entweichen in einem oberen Bereich der Aufwärmzone 8.

Da das Wärmeträgermedium bereits mit einer Sockeltemperatur von mehr als 500°C aus der ersten Reaktionszone 2, gegebenenfalls aus einer Trennzone (siehe Figur 1), in die Aufwärmzone 8 überführt wird, weisen die Verbrennungsabgase in der Regel eine Resttemperatur im Bereich der Sockeltemperatur auf, die in einer Wärmerückgewinnungseinrichtung 14, etwa einem Wärmetauscher, genutzt werden kann. Die Abgase werden, falls erforderlich, weiter einer Abgasreinigungseinrichtung 15 zugeführt, wo sie, physikalisch und/oder chemisch, etwa im Hinblick auf gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte, gereinigt und anschließend stoßen werden können.

**Fig. 3** zeigt ein Ausführungsbeispiel einer zweiten Reaktionszone 3, die von einem in einer unterhalb der zweiten Reaktionszone 3 angeordneten ersten Reaktionszone 2 erzeugten Pyrolysegas durchströmt wird, welches dabei in ein Produktgas zum Aktivieren von Pyrolysekoks umgewandelt wird.

Die Erzeugung des Produktgases aus dem Pyrolysegas erfolgt bei einer Erzeugungstemperatur, die oberhalb der zur Erzeugung des Pyrolysegas aus einem kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterial notwendigen Pyrolysetemperatur liegt. Die Erzeugungstemperatur wird durch Befüllen der zweiten Reaktionszone 3 mit einem vorgeheizten Wärmeträgermedium 16 erreicht, welches vorzugsweise als

- 24 -

Schüttgut, etwa Stahlkugeln oder Keramikugeln, ausgeführt ist und sich auf dem Grund der zweiten Reaktionszone 3 in Form einer Schüttung 17 sammelt.

Das Pyrolysegas tritt in die zweite Reaktionszone 3 über eine gasleitende Verbindung 18 zwischen der ersten und zweiten Reaktionszone 2, 3 ein, wobei die  
5 gasleitende Verbindung 18 in einem oberen Bereich der ersten Reaktionszone 2 und in einem unteren Bereich, insbesondere im Bereich des Grundes der zweiten Reaktionszone 3, in die zweite Reaktionszone 3 mündet. Das heiße, auf die Pyrolysetemperatur erhitzte Pyrolysegas kann in dieser Weise einfach aufsteigen, in die zweite Reaktionszone 3 überführt werden, dort die Schüttung 17  
10 durchströmen und dabei auf die höhere Erzeugungstemperatur erhitzt werden und als Produktgas durch eine Produktgasableitung 19, die vorteilhaft im oberen Bereich der zweiten Reaktionszone 3 angeordnet ist, aus der zweiten Reaktionszone 3 abgeführt, insbesondere in eine dritte Reaktionszone (siehe Figur 1) überführt, werden.

Das Wärmeträgermedium 16 tritt, auf die Erzeugungstemperatur vorgeheizt, im  
15 oberen Bereich der zweiten Reaktionszone 3 in die zweite Reaktionszone 3 ein, beispielsweise durch eine erste Schüttgutschleuse 20a, wobei das Wärmeträgermedium 16 dabei bevorzugt von der ersten Schüttgutschleuse 20a dosiert, insbesondere zyklisch in die zweite Reaktionszone 3 eingelassen, werden kann.  
20 Durch die Schwerkraft fällt das zweite Wärmeträgermedium in die zweite Reaktionszone 3. Mittels der zweiten Schüttgutschleuse 20b kann das in der Zwischenzeit, insbesondere aufgrund des vorzugsweise kontinuierlichen Durchströmens der Schüttung 17 mit dem kühleren Pyrolysegas, auf die Pyrolysetemperatur abgekühlte Wärmeträgermedium 16 unter abermaligem Ausnutzen der  
25 Schwerkraft in die erste Reaktionszone 2 überführt werden, wobei auch hier eine Dosierung des Wärmeträgermediums 16 stattfinden kann.

Die gasleitende Verbindung 18 führt dabei in bevorzugter Weise um die zweite Schüttgutschleuse 20b herum, um einen ungehinderten Übertritt des Pyrolysegases aus der ersten in die zweite Reaktionszone 2, 3 auch dann zu ermögli-

- 25 -

chen, wenn die zweite Schüttgutschleuse 20b geschlossen ist. Die Einmündung der gasleitenden Verbindung 18 in die zweite Reaktionszone 3 ist dabei derart in der zweiten Reaktionseinrichtung 3 angeordnet, dass das aus ihr austretende Pyrolysegas die Schüttung 17 auf dem Grund der zweiten Reaktionszone 3 durchströmen muss. Dadurch kann sichergestellt werden, dass das Pyrolysegas vollständig auf die Erzeugungstemperatur erwärmt und beispielsweise im Pyrolysegas enthaltene Teere gecrackt werden, so dass ein teearmes Produktgas entsteht.

**Fig. 4** zeigt ein Ausführungsbeispiel einer dritten Reaktionszone 4 zum Erzeugen von Aktivkohle aus Pyrolysekoks 21 mithilfe eines Produktgases. Die dritte Reaktionszone 4 ist dabei als Drehrohrreaktor mit einer Trommel 22 ausgeführt, in welche das Pyrolysekoks 21 über einen Eintrittsbereich 22a eingeführt und als Aktivkohle über einen Austrittsbereich 22b ausgeführt werden kann. Die Trommel 22 ist dabei drehbar gelagert, so dass eine Durchmischung des Pyrolysekokes 21 innerhalb der Trommel 22 ermöglicht wird.

Die Förderung des Pyrolysekokes 21 vom Eintrittsbereich 22a zum Austrittsbereich 22b entlang einer Förderrichtung 23 kann dabei von der Drehung der Trommel 22 zumindest unterstützt werden, insbesondere wenn die dritte Reaktionszone 4 gegenüber einer Horizontalen verkippt ist, so dass der Austrittsbereich 22b unterhalb des Eintrittsbereichs 22a liegt.

Die dritte Reaktionszone 4 wird dabei von dem Produktgas als Produktgasstrom 24 in Gegenrichtung zur Förderrichtung 23 durchströmt. Auf diese Weise, insbesondere in Verbindung mit der Drehung der Trommel 22, kommt das Produktgas vollständig mit dem Pyrolysekoks 21 in Kontakt, so dass eine vollständige und gleichmäßige Umwandlung zu Aktivkohle stattfinden kann.

Das Produktgas tritt dabei in bevorzugter Weise durch eine Einlassöffnung 25a im Austrittsbereich 22b in die dritte Reaktionszone 4 ein und durch eine Auslassöffnung 25b im Eintrittsbereich 22a aus der dritten Reaktionszone 4 aus. Die

Einlassöffnung 25a ist mit einer zweiten Reaktionszone gasleitend verbunden (siehe Figur 2), so dass in der dritten Reaktionszone 4, zumindest im Wesentlichen kontinuierlich, Produktgas bereitgestellt werden kann. Die Auslassöffnung 25b ist vorzugsweise mit einer Trenneinrichtung gasleitend verbunden (siehe Figur 1), in welcher der Produktgasstrom 24 von beim Umströmen des Pyrolysekokes 21 in der Trommel 22 aufgenommenen Pyrolysekoks- und/oder Aktivkohlepartikeln gereinigt werden kann. Die aus dem Produktgasstrom 24 abgeschiedenen Pyrolysekoks- und/oder Aktivkohlepartikel können der dritten Reaktionszone 4 über den Eintrittsbereich 22a wieder zugeführt werden.

10 Vorzugsweise wird die Temperatur in der dritten Reaktionszone 4 zur Aktivierung des Pyrolysekokes 21 ausschließlich durch das über die Einlassöffnung 25a in die Trommel 22 eintretende Produktgas geregelt. Mit anderen Worten entspricht die Aktivierungstemperatur, bei welcher das Pyrolysekoks 21 aktiviert wird, zumindest im Wesentlichen, in bevorzugter Weise einer Erzeugungstemperatur, bei der bei einer thermischen Zersetzung erzeugtes Pyrolysegas in  
15 das Produktgas umgewandelt wird.

Alternativ oder zusätzlich kann eine Zonenheizung (nicht dargestellt) vorgesehen sein, die zur Bereitstellung von Wärme und zum Eintragen der erzeugten Wärme in die dritte Reaktionszone 4 eingerichtet ist. In der Zonenheizung kann  
20 bzw. können ein oder mehrere verschiedene Brennstoffe verbrannt werden. Diese Brennstoffe werden bevorzugt außerhalb der Vorrichtung bereitgestellt. In einer Ausführungsform kann der Brennstoff aber, zumindest teilweise, von einem Teil des in der ersten Reaktionszone erzeugten Pyrolysekokes gebildet werden. Alternativ oder zusätzlich kann in der Zonenheizung auch ein Teil des  
25 Produktgases verbrannt werden.

**Fig. 5** zeigt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines Verfahrens 100 zur Erzeugung von Aktivkohle. In einem Verfahrensschritt S1 wird ein kohlenstoffreiches Ausgangsmaterial, beispielsweise Biomasse oder ähnliche biogene Abfäll-

- 27 -

le, die in Haushalten und/oder industriellen Prozessen anfallen, in einer ersten Reaktionszone thermisch in Pyrolysekoks und Pyrolysegas zersetzt.

Zum Antreiben des Zersetzungsprozesses kann der ersten Reaktionszone ein vorgeheiztes Wärmeträgermedium zugeführt werden, welches für eine definierte  
5 Pyrolysetemperatur in der ersten Reaktionszone sorgt. Um eine möglichst vollständige, homogene Zersetzung des Ausgangsmaterials zu ermöglichen, ist das Wärmeträgermedium vorzugsweise als Schüttgut, d.h. als formstabile Partikel, etwa Stahlkugeln oder Keramikugeln, mit einem Durchmesser zwischen 0,1 und 200 mm, bevorzugt zwischen 1 und 100 mm, insbesondere zwischen 10  
10 und 50 mm, ausgeführt. Das Wärmeträgermedium kann sich daher vorteilhaft mit dem Ausgangsmaterial vermischen.

Zur Steuerung der Temperatur in der ersten Reaktionszone kann die erste Reaktionszone das Wärmeträgermedium vorzugsweise, insbesondere mittels einer Schüttgutschleuse, dosiert in die erste Reaktionszone eingebracht werden. Sinkt  
15 die Temperatur in der ersten Reaktionszone im Laufe der Zeit, beispielsweise durch die fortschreitende Zersetzung des Ausgangsmaterials, kann entsprechend weiteres heißes Wärmeträgermedium zugeführt werden.

Um eine spätere Aktivierung des Pyrolysekokes zu erleichtern, kann dem erzeugten Pyrolysegas in einem weiteren Verfahrensschritt S2 Wasserdampf zugeführt werden. Der Wasserdampf wird dabei vorzugsweise in der ersten Reaktionszone zugegeben. Dadurch wird eine Teilaktivierung des Pyrolysekokes direkt bei der Entstehung erreicht.

Nach der Erzeugung des Pyrolysekokes sollte das Wärmeträgermedium wieder vom Pyrolysekoks separiert werden. Vorzugsweise wird das Gemisch in einem  
25 weiteren Verfahrensschritt S3 daher in einer Trennzone aufgetrennt, beispielsweise durch mechanische Siebung oder Windsichtung.

Das thermische Zersetzen des Ausgangsmaterials, das dosierte Zuführen des Trägermaterials in die erste Reaktionszone, das Zugeben von Wasserdampf und das Separieren des Wärmeträgermediums sind vorzugsweise Teil einer ersten Prozessstufe P1, welche in bevorzugter Weise alle Verfahrensschritte beinhaltet, welche innerhalb oder zumindest korrespondierend mit der ersten Reaktionszone durchgeführt werden.

In einem weiteren Verfahrensschritt S4 wird das erzeugte Pyrolysegas in eine zweite Reaktionszone und der erzeugte Pyrolysekoks in eine dritte Reaktionszone überführt. Während die Überführung des Pyrolysegases vorzugsweise über eine in die erste und zweite Reaktionszone mündende Gasleitung erreicht wird, durch die das Pyrolysegas aus der ersten Reaktionszone in die zweite Reaktionszone entweichen kann, kann für die Überführung des Pyrolysekokes eine erste Fördereinrichtung, beispielsweise ein Transportband oder eine Förderschnecke, vorgesehen sein.

In einem weiteren Verfahrensschritt S5 wird in der zweiten Reaktionszone das Pyrolysegas in ein Produktgas umgewandelt, welches zur Aktivierung des Pyrolysekokes einsetzbar ist. Vorzugsweise wird das Pyrolysegas zu diesem Zweck auf eine Erzeugungstemperatur erhitzt, die oberhalb der Pyrolysetemperatur in der ersten Reaktionszone liegt, so dass im Pyrolysegas enthaltene Teere gecrackt werden. Beispielsweise kann das Pyrolysegas durch eine Schüttung des Wärmeträgermediums auf dem Grund der zweiten Reaktionszone geführt werden. Insbesondere kann das Pyrolysegas im Gegenstrom zum Wärmeträgermedium durch die zweite Reaktionszone geführt werden, bevor es in einem oberen Bereich der zweiten Reaktionszone austritt.

Dabei ist auch denkbar, im oberen Teil der zweiten Reaktionszone einen Katalysator vorzusehen, der die Erzeugung des Produktgases aus dem Pyrolysegas zumindest begünstigt.

- 29 -

Um die Temperatur in der zweiten Reaktionszone zu regulieren, wird das in einer Aufwärmzone vorgeheizte Wärmeträgermedium in bevorzugter Weise dosiert, etwa über eine Schüttgutschleuse im oberen Bereich der zweiten Reaktionszone, in die zweite Reaktionszone eingeführt, wo es die Schüttung bildet.

5 Sinkt beispielsweise die Temperatur in der zweiten Reaktionszone, kann zusätzliches, heißes Wärmeträgermedium von oben zugeführt werden, während bereits abgekühltes Wärmeträgermedium auf dem Grund der zweiten Reaktionszone in die erste Reaktionszone überführt werden kann.

Die Erzeugungstemperatur ist dabei vorzugsweise in der Weise gewählt, dass

10 nicht nur eine vollständige Umwandlung des Pyrolysegases in wasserstoffreiches, teearmes Produktgas sichergestellt wird, sondern bei dieser Temperatur auch eine besonders zuverlässige Aktivierung des Pyrolysekokes möglich ist.

Sollte der Wasserdampfanteil im Produktgas nicht ausreichend hoch sein, beispielsweise weil in der ersten Reaktionszone nur so viel Wasserdampf zugegeben wurde, wie zur Teilaktivierung des Pyrolysekokes notwendig ist, kann in

15 der zweiten Reaktionszone optional zusätzlicher Wasserdampf zugegeben werden. Vorzugsweise wird dieser zusätzliche Wasserdampf dabei im Bereich der Gasleitung zwischen der ersten Reaktionszone und der zweiten Reaktionszone zugegeben, bevor das Pyrolysegas mit dem heißen Wärmeträgermedium in der

20 zweiten Reaktionszone in Kontakt tritt.

Das Erzeugen des Produktgases, das dosierte Zuführen des Trägermaterials in die zweite Reaktionszone und das Zugeben von weiterem Wasserdampf sind vorzugsweise Teil einer zweiten Prozessstufe P2, welche in bevorzugter Weise

25 alle Verfahrensschritte beinhaltet, welche innerhalb oder zumindest korrespondierend mit der zweiten Reaktionszone durchgeführt werden.

In einem weiteren Verfahrensschritt S6 wird das erzeugte Produktgas in die dritte Reaktionszone überführt. Dabei wird die Temperatur des Produktgases vorzugsweise stabil gehalten. Beispielsweise fällt die Temperatur bei der Überfüh-

- 30 -

rung in die dritte Reaktionszone weniger als 100°C, vorzugsweise weniger als 50°C, insbesondere weniger als 25°C gegenüber der Erzeugungstemperatur ab.

Der Pyrolysekoks wird in einem weiteren Verfahrensschritt S7 mit dem in die dritte Reaktionszone geleiteten, heißen Produktgas beaufschlagt, um eine Aktivierung des Pyrolysekokes zu erreichen. Dazu kann der Pyrolysekoks beispielsweise durch die dritte Reaktionszone, etwa mittels eines Transportbands oder durch Rutschen aufgrund von Schwerkraft, transportiert werden, während das heiße Produktgas den Pyrolysekoks überstreicht bzw. umströmt. Um eine möglichst gute Wärmeübertragung zu ermöglichen, wird das Produktgas vorzugsweise im Gegenstrom zum Pyrolysekoks durch die dritte Reaktionszone geführt.

In bevorzugter Weise wird der Pyrolysekoks dabei durchmischt, besonders bevorzugt mit dem Pyrolysegas. Dazu kann die dritte Reaktionszone etwa als Drehrohreaktor ausgebildet sein, wobei der Pyrolysekoks eine drehbare Trommel des Reaktors durchläuft. Neben der Durchmischung kann die Drehbewegung, insbesondere bei einer Neigung der Rotationsachse der Trommel gegen eine Horizontale, den Transport des Pyrolysekokes durch die dritte Reaktionszone bewirken oder zumindest unterstützen.

In einem weiteren Verfahrensschritt S8 wird das Produktgas nach der Aktivierung des Pyrolysekokes in bevorzugter Weise, insbesondere physikalisch, gereinigt. Dazu kann das Pyrolysegas eine Trenneinrichtung durchlaufen, in der vom Produktgas bei der Aktivierung aufgenommene Partikel wieder abgeschieden werden. Anschließend kann das in dieser Weise physikalisch gereinigte Produktgas weiteren, chemischen Reinigungsschritten unterzogen werden, bevor es energetisch oder stofflich genutzt wird.

Auch die Aktivkohle wird vorzugsweise vor der weiteren Verwendung, insbesondere chemisch, gereinigt. Dazu kann die Aktivkohle in einem weiteren Verfahrensschritt S9 von der dritten Reaktionszone in eine Nachbehandlungseinrich-

- 31 -

tung überführt und dort, insbesondere entsprechend der beabsichtigten Verwendung, aufbereitet werden.

Das Aktivieren des Pyrolysekokes, das Reinigen des Produktgases und das Aufbereiten der Aktivkohle sind vorzugsweise Teil einer dritten Prozessstufe P3, welche in bevorzugter Weise alle Verfahrensschritte beinhaltet, welche innerhalb oder zumindest korrespondierend mit der dritten Reaktionszone durchgeführt werden.

Während vorausgehend wenigstens eine beispielhafte Ausführungsform beschrieben wurde, ist zu bemerken, dass eine große Anzahl von Variationen dazu existiert. Es ist dabei auch zu beachten, dass die beschriebenen beispielhaften Ausführungsformen nur nichtlimitierende Beispiele darstellen, und es nicht beabsichtigt ist, dadurch den Umfang, die Anwendbarkeit oder die Konfiguration der hier beschriebenen Vorrichtungen und Verfahren zu beschränken. Vielmehr wird die vorausgehende Beschreibung dem Fachmann eine Anleitung zur Implementierung mindestens einer beispielhaften Ausführungsform liefern, wobei sich versteht, dass verschiedene Änderungen in der Funktionsweise und der Anordnung der in einer beispielhaften Ausführungsform beschriebenen Elemente vorgenommen werden können, ohne dass dabei von dem in den angehängten Ansprüchen jeweils festgelegten Gegenstand sowie seinen rechtlichen Äquivalenten abgewichen wird.

Bezugszeichenliste

	1	Vorrichtung
	2	erste Reaktionszone
	3	zweite Reaktionszone
5	4	dritte Reaktionszone
	5	Förderanlage
	6	Trennzone
	7	Nachbehandlungseinrichtung
	8	Aufwärmzone
10	9	zweite Fördereinrichtung
	10	erste Fördereinrichtung
	11	Heizeinrichtung
	12	Trenneinrichtung
	13	Reinigungseinrichtung
15	14	Wärmerückgewinnungseinrichtung
	15	Abgasreinigungseinrichtung
	16	Wärmeträgermedium
	17	Schüttung
	18	Gasleitung
20	19	Produktgasableitung
	20a, b	erste, zweite Schüttgutschleuse
	21	Pyrolysekoks
	22	Trommel
	22a, b	Eintrittsbereich, Austrittsbereich
25	23	Förderrichtung
	24	Produktgasstrom
	25a, b	Einlassöffnung, Auslassöffnung
	100	Verfahren
	S1 – S9	Verfahrensschritte
30	P1 – P3	Prozessstufen

## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren (100) zur Erzeugung von Aktivkohle innerhalb eines Verga-  
sungsprozesses, aufweisend:  
5 eine erste Prozessstufe (P1), aufweisend ein thermisches Zerset-  
zen (S1) eines kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterials, insbesondere  
von Biomasse, in einer ersten Reaktionszone (2) unter Erzeugung von  
Pyrolysekoks (21) und Pyrolysegas;  
Überführen (S4) von zumindest einem Teil des erzeugten Pyrolysega-  
10 ses aus der ersten Reaktionszone (2) in eine zweite Reaktionszone (3)  
und Überführen zumindest eines Teils des Pyrolysekoks (21) aus der  
ersten Reaktionszone (2) in eine dritte Reaktionszone (4);  
eine zweite Prozessstufe (P2), aufweisend ein Erzeugen (S5) eines zur  
Aktivierung des Pyrolysekoks (21) einsetzbaren Produktgases aus  
15 dem Pyrolysegas in der zweiten Reaktionszone (3);  
Überführen (S6) des Produktgases in die dritte Reaktionszone (4); und  
eine dritte Prozessstufe (P3), aufweisend ein Aktivieren (S7) zumindest  
eines Teils des Pyrolysekoks (21) zu Aktivkohle mithilfe des Produkt-  
gases in der dritten Reaktionszone (4).  
20
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1, wobei die zur Aktivierung des Pyroly-  
sekoks (21) notwendige Wärmeenergie, zumindest teilweise, vor-  
zugsweise ausschließlich, durch das Produktgas bereitgestellt wird.
- 25 3. Verfahren (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Pyrolysekoks (21)  
bei einer Aktivierungstemperatur aktiviert wird, die von einer Erzeu-  
gungstemperatur bei der Erzeugung (S5) des Produktgases abhängt.
- 30 4. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das  
Produktgas bei einer Erzeugungstemperatur erzeugt (S5) wird, die zwi-  
schen 700 und 1200°C, vorzugsweise zwischen 800 und 1000°C, ins-  
besondere zwischen 925 und 975°C, liegt.

5. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei dem Pyrolysegas Wasserdampf zugegeben wird (S2), mit dessen Hilfe das Produktgas in der zweiten Reaktionszone (3) erzeugt wird.
- 5
6. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei der Wasserdampf in der Weise zugegeben und/oder die Erzeugungstemperatur in der Weise gewählt wird, dass das Produktgas zumindest eines der folgenden aufweist:
- 10
- einen Wasserdampfgehalt zwischen 15 und 45 Vol.%, vorzugsweise zwischen 20 und 40 Vol.%, insbesondere etwa 30 Vol.%;
  - einen Kohlenstoffdioxidgehalt zwischen 5 und 30 Vol.%, vorzugsweise zwischen 10 und 20 %, insbesondere etwa 15 Vol.%; und/oder
  - einen Kohlenmonoxidanteil zwischen 10 und 30 Vol.%, vorzugsweise
- 15
- zwischen 15 und 25 Vol.%, insbesondere etwa 20 Vol.%.
7. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 5 oder 6, wobei zumindest ein Teil des Wasserdampfs bereits in der ersten Reaktionszone (2) bei der thermischen Zersetzung (S1) zugegeben wird, so dass teilaktivierter Pyrolysekoks (21) erzeugt wird, der in der dritten Reaktionszone (4) mithilfe des Produktgases zumindest überwiegend, bevorzugt zumindest im Wesentlichen vollständig, aktiviert wird.
- 20
8. Verfahren (100) nach Anspruch 7, wobei der Pyrolysekoks (21) mithilfe des zugegebenen Wasserdampfs in der ersten Reaktionszone (2) bei einer Temperatur teilaktiviert wird, die durch eine Pyrolysetemperatur, bei der das Ausgangsmaterial thermisch zersetzt wird, definiert wird.
- 25
9. Verfahren (100) nach Anspruch 8, wobei das Ausgangsmaterial in der ersten Reaktionszone (2) bei einer Pyrolysetemperatur thermisch zersetzt wird, die zwischen 500 und 900°C, vorzugsweise zwischen 600 und 800°C, insbesondere zwischen 650 und 750°C, liegt.
- 30

10. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zumindest ein Teil des Pyrolysekokes (21) beim Überführen in die dritte Reaktionszone (4) vorkonditioniert wird.
- 5
11. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Pyrolysekoks (21) in der dritten Reaktionszone (4) während der Aktivierung mit dem Produktgas, zumindest im Wesentlichen, kontinuierlich durchmischt wird.
- 10
12. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Produktgas im Gegenstrom (24) zum Pyrolysekoks (21) durch die dritte Reaktionszone (4) geleitet wird.
- 15
13. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Produktgas nach der Aktivierung des Pyrolysekokes (21) durch eine Trenneinrichtung (12) geleitet und dort von Pyrolysekoksrückständen und/oder Aktivkohlerückständen, insbesondere physikalisch, gereinigt wird.
- 20
14. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein Teil des Pyrolysekokes (21) in einer Heizeinrichtung (11) verfeuert wird, um ein Wärmeträgermedium (16) aufzuheizen, welches der zweiten Reaktionszone (3) zur Erzeugung des Produktgases und/oder der ersten Reaktionszone (2) zur thermischen Zersetzung des Ausgangsmaterials zugeführt wird.
- 25
15. Vorrichtung (1) zur Erzeugung von Aktivkohle, eingerichtet zum Ausführen eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche.
- 30

- 36 -

16. Vorrichtung (1) nach Anspruch 15, aufweisend:
- eine erste Reaktionszone (2), in der Pyrolysekoks (21) und Pyrolysegas durch thermische Zersetzung von kohlenstoffhaltigem Ausgangsmaterial, insbesondere Biomasse, erzeugbar ist;
- 5 eine mit der ersten Reaktionszone (2) gasleitend verbundene zweite Reaktionszone (3), in der aus zumindest einem Teil des Pyrolysegases ein zur Aktivierung des Pyrolysekokes (21) einsetzbares Produktgas erzeugt wird;
- eine mit der zweiten Reaktionszone (3) gasleitend verbundene dritte
- 10 Reaktionszone (4), in der zumindest ein Teil des Pyrolysekokes (21) mithilfe des Produktgases zu Aktivkohle aktivierbar ist; und
- eine erste Fördereinrichtung (10), die dazu eingerichtet ist, zumindest einen Teil des Pyrolysekokes (21) aus der ersten Reaktionszone (2) in die dritte Reaktionszone (4) zu überführen.

15

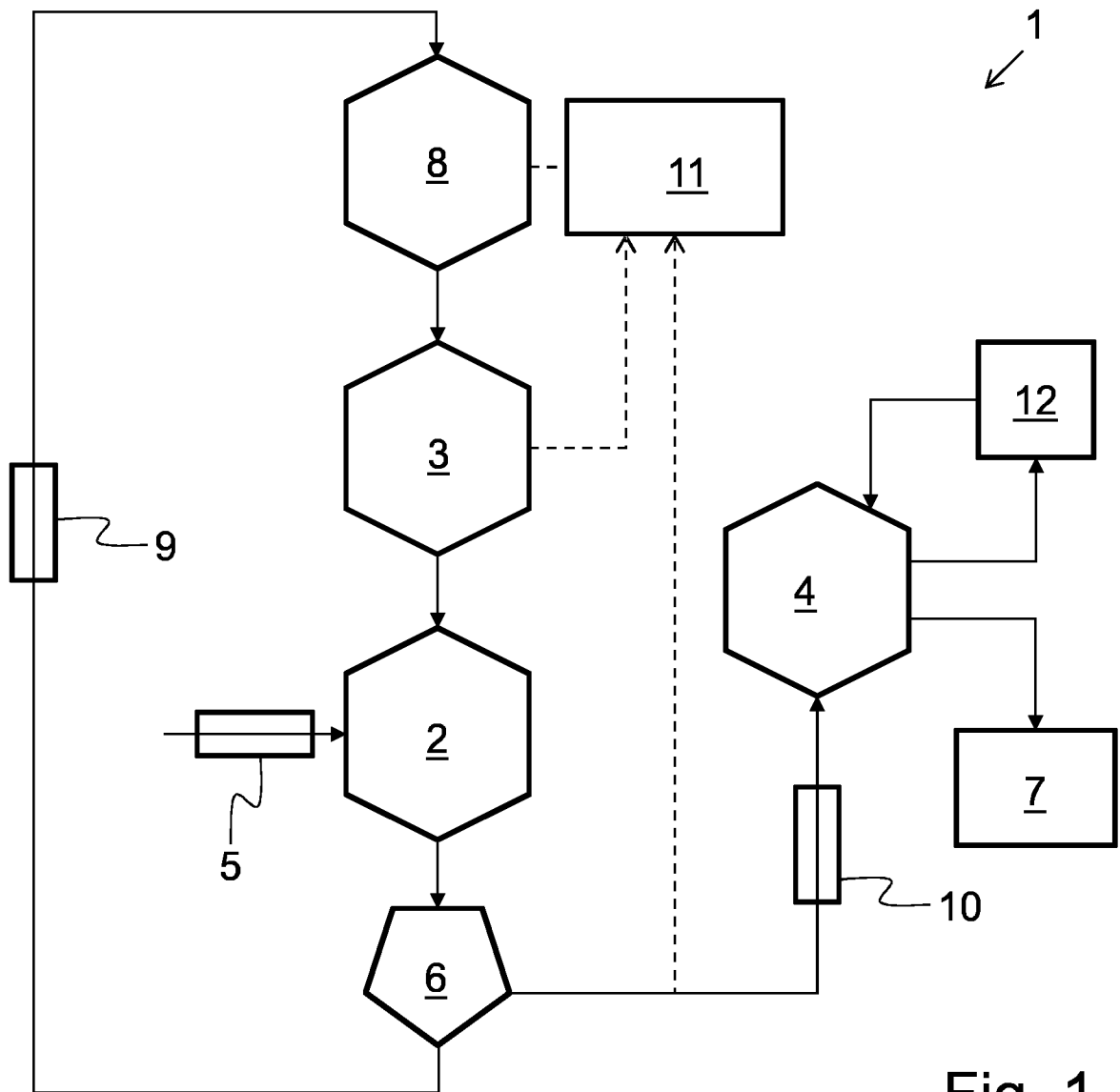


Fig. 1

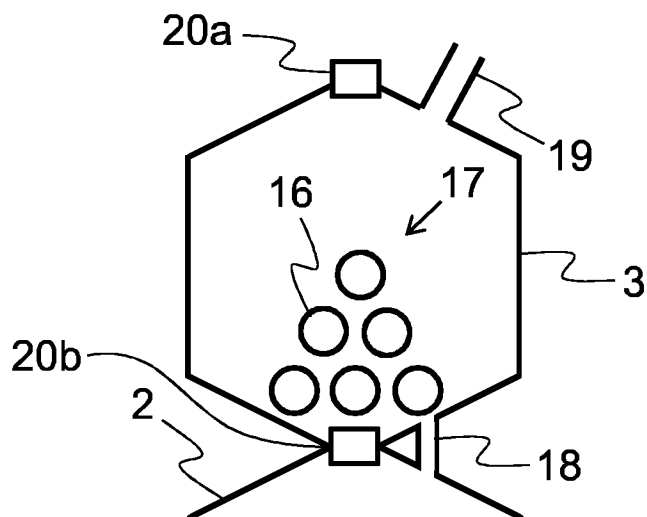


Fig. 3

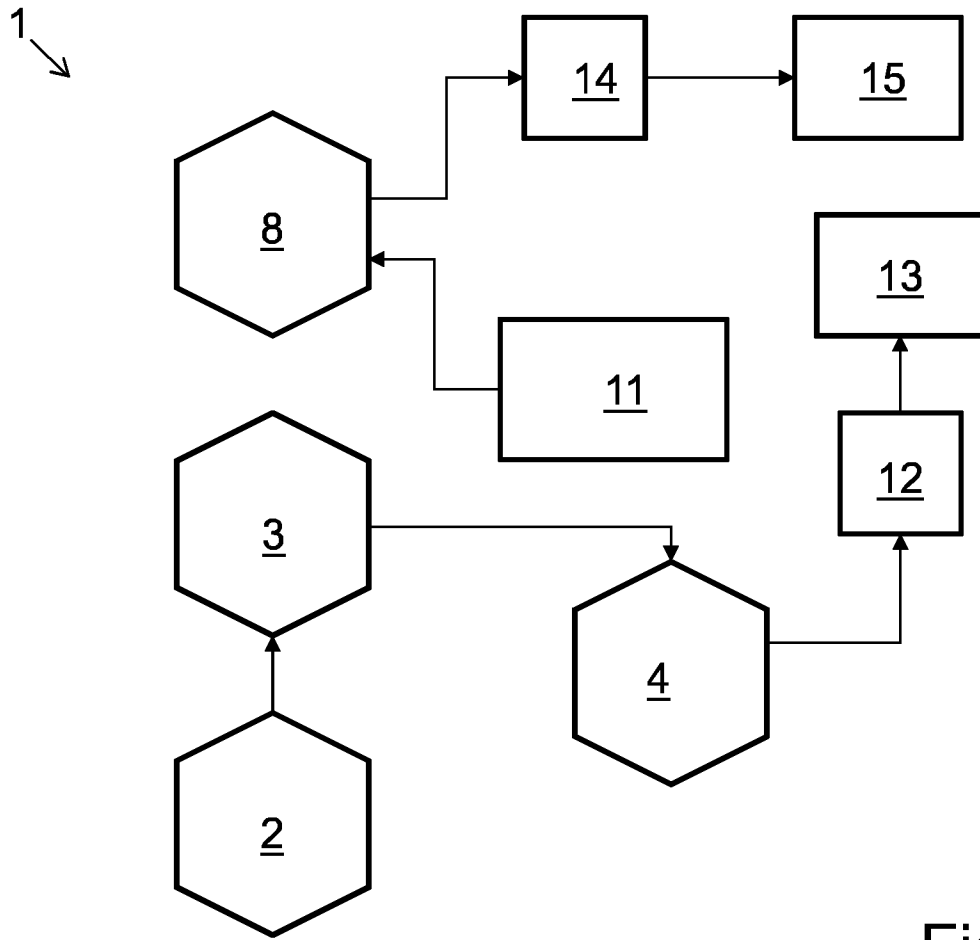


Fig. 2

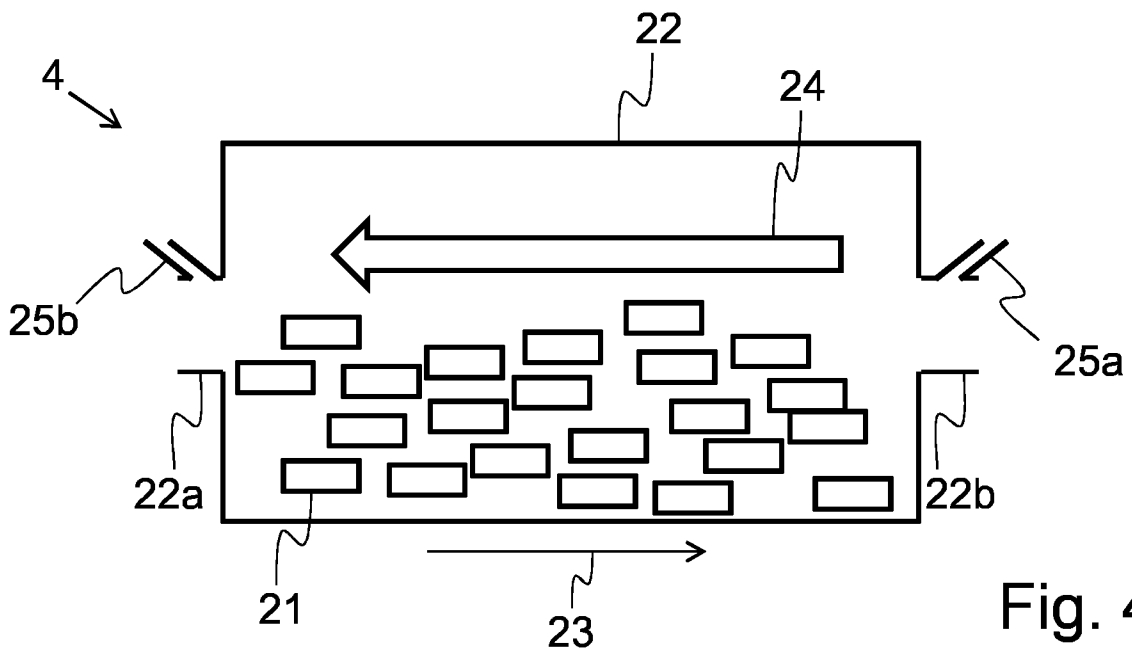


Fig. 4

3/3

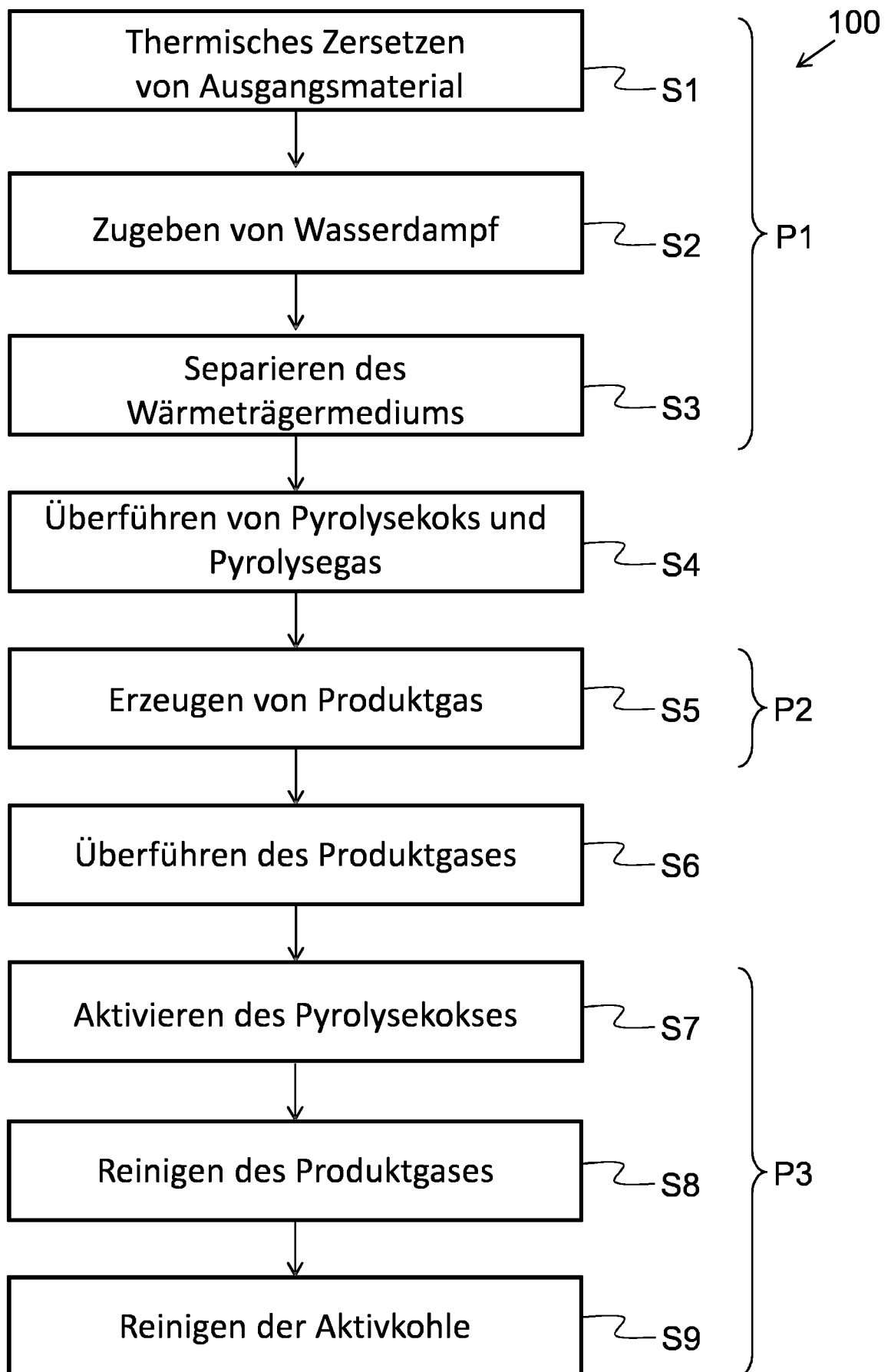


Fig. 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/069021**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>C01B 32/312</i> (2017.01)i; <i>C01B 32/336</i> (2017.01)i; <i>C01B 32/39</i> (2017.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C01B  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 19936524 A1 (MATRMAWI RADWAN [DE]) 15 February 2001 (2001-02-15) cited in the application claims 1,7; figure 1	1-16
A	AKSHAY JAIN ET AL. "Production of high surface area mesoporous activated carbons from waste biomass using hydrogen peroxide-mediated hydrothermal treatment for adsorption applications" <i>CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL</i> , AMSTERDAM, NL, Vol. 273, 28 March 2015 (2015-03-28), pages 622-629 DOI: 10.1016/j.cej.2015.03.111 ISSN: 1385-8947, XP055346546 the whole document	1-16
A	EP 3088492 A1 (WS WÄRMEPROZESSTECHNIK GMBH [DE]) 02 November 2016 (2016-11-02) claims 1-5; all the figures	1-16
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>20 September 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>08 October 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Mattheis, Chris</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/069021**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	19936524	A1	15 February 2001	AT	220577	T	15 August 2002
				DE	19936524	A1	15 February 2001
				EP	1078698	A1	28 February 2001
				HU	0003036	A2	28 March 2001
				SK	163799	A3	10 May 2001
-----							
EP	3088492	A1	02 November 2016	EP	3088492	A1	02 November 2016
				ES	2662406	T3	06 April 2018
				WO	2016174006	A1	03 November 2016
-----							

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. C01B32/312 C01B32/336 C01B32/39 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) C01B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 199 36 524 A1 (MATRMAWI RADWAN [DE]) 15. Februar 2001 (2001-02-15) in der Anmeldung erwähnt Ansprüche 1,7; Abbildung 1 -----	1-16
A	AKSHAY JAIN ET AL: "Production of high surface area mesoporous activated carbons from waste biomass using hydrogen peroxide-mediated hydrothermal treatment for adsorption applications", CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, Bd. 273, 28. März 2015 (2015-03-28), Seiten 622-629, XP055346546, AMSTERDAM, NL ISSN: 1385-8947, DOI: 10.1016/j.cej.2015.03.111 das ganze Dokument ----- -/--	1-16
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts	
20. September 2019	08/10/2019	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Mattheis, Chris	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 3 088 492 A1 (WS WÄRMEPROZESSTECHNIK GMBH [DE]) 2. November 2016 (2016-11-02) Ansprüche 1-5; Abbildung all -----	1-16

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/069021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19936524	A1	15-02-2001	AT 220577 T 15-08-2002
			DE 19936524 A1 15-02-2001
			EP 1078698 A1 28-02-2001
			HU 0003036 A2 28-03-2001
			SK 163799 A3 10-05-2001
-----			
EP 3088492	A1	02-11-2016	EP 3088492 A1 02-11-2016
			ES 2662406 T3 06-04-2018
			WO 2016174006 A1 03-11-2016
-----			