



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 056 170 A1** 2008.11.06

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 056 170.0**

(22) Anmeldetag: **21.11.2007**

(43) Offenlegungstag: **06.11.2008**

(51) Int Cl.⁸: **C10L 5/44 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:

10 2006 062 504.8 28.12.2006

10 2007 027 594.5 12.06.2007

(74) Vertreter:

**Remus, A., Dipl.-Biol. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 40470
Düsseldorf**

(71) Anmelder:

Peus, Dominik, 85630 Grasbrunn, DE

(72) Erfinder:

gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Semikontinuierliches Verfahren zur Herstellung von Brennstoff aus Biomasse**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Brennstoffen und weiterer Reaktionsprodukte aus Biomasse. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Biomasse beispielsweise durch Zerkleinern, Vermischen, Vorwärmen sowie Beimischen eines Katalysatorgemischs vorbehandelt. Die Biomasse wird dann unter Druck erhitzt, wobei beispielsweise eine Temperatur von über 160°C und ein Druck von über 7 bar angelegt werden. Nach Ablauf der Behandlungsdauer erfolgt die Abtrennung des Reaktionsprodukts aus der Suspension. Nach Abkühlung, Zerkleinerung und Trocknung kann das Verfahrensprodukt durch Konditionierung und/oder Energiegewinnung, insbesondere auf thermischem Wege, verwertet werden.

Beschreibung

Erfindungsgebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Brennstoffen, kohlenstoffhaltigen Werk- und Nutzstoffen, Humus und/oder Maillard- beziehungsweise Maillard-ähnlichen Reaktionsprodukten aus Biomasse, bei dem die Biomasse bei einer Temperatur von über 100 Grad Celsius und einem Druck von über 5 bar für eine Behandlungsdauer von mindestens 1 Stunde behandelt wird.

Hintergrund

[0002] Das Grundprinzip der so genannten hydrothermalen Karbonisierung im Labormaßstab wurde erstmals im Juli 2006 von Prof. Markus Antonietti vom Potsdamer Max-Planck-Institut für Kolloid und Grenzflächenforschung vorgestellt. Bei diesem Verfahren wird Biomasse in einem Laborautoklaven bei 10 bar und 180 Grad innerhalb eines halben Tages in einen kohleähnlichen Stoff oder deren Vorstufen und Wasser umgewandelt.

[0003] Die Nutzung von feuchter Biomasse zur Energiegewinnung durch Herstellung eines möglichst einheitlichen Brennstoffs wird seit längerem angestrebt, ist bisher aber durch mangelnde Effizienz der energetischen Nutzbarkeit und geringe Wirtschaftlichkeit in ihrer Anwendung begrenzt. Kohlendioxid-Emissionen durch die Verbrennung fossiler Energieträger werden im Wesentlichen für den Klimawandel verantwortlich gemacht. Bei der energetischen Verwertung von Biomasse wird nur so viel Kohlendioxid in die Atmosphäre freigesetzt, wie die lebenden Pflanzen zuvor zum Wachstum benötigen. Die Nutzung von Brennstoffen aus Biomasse ist daher Kohlendioxid-neutral und damit klimaverträglich. Weiter kann die Herstellung von Humus, der zum Beispiel auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht wird, als CO₂-Senke dienen. Ohne solche Maßnahmen und ohne den verstärkten energetischen Einsatz nicht-fossiler Brennstoffe aus Biomasse sind Klimaschutzziele wie sie zum Beispiel im Kyoto-Protokoll festgelegt wurden, nur schwer zu erreichen.

[0004] Biomasse umfasst im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen nachwachsende Rohstoffe, die als heimische Energieträger langfristig verfügbar sind, sowie alle flüssigen und festen organischen Stoffe und Produkte biologischer und biochemischer Vorgänge und deren Umwandlungsprodukte, die für dieses Verfahren einen ausreichend hohen Kohlenstoffanteil besitzen und auch sonst in Ihrer Zusammensetzung und Beschaffenheit zu wirtschaftlich nutzbaren Reaktions-, Zwischen-, Neben- und Endprodukten durch das erfindungsgemäße Verfahren einschließlich Brennstoffen verarbeitet werden können. Zum Beispiel zählen zu den Ausgangsstoffen Kohlenhydrate,

Zucker und Stärken, land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse, auch speziell angebaute Energiepflanzen (schnell wachsende Baumarten, Schilfgräser, Getreideganzpflanzen u. ä.), Soja, Zuckerrohr und Getreidestroh sowie biogene Rest-, Abfallstoffe und Nebenprodukte, Pflanzen und Pflanzenreste anderer Herkunft (Straßenbegleitgrün, Landschaftspflegegut u. ä.), landwirtschaftliche Abfälle einschließlich Stroh, Zuckerrohrblätter, Abputzgetreide, unverkäufliche Partien an Kartoffeln oder Zuckerrüben, verdorbene Silagepartien sowie sonstige Futterreste, Rasenschnittgut, Getreidestroh, Rübenblatt, Zuckerrohrblätter, kohlenstoffhaltige Rest- und Abfallstoffe einschließlich Biomüll, heizwertreiche Fraktionen von Haus- und Gewerbeabfällen (Restmüll), Klärschlamm, verschiedene Holzarten und -klassen einschließlich Waldholz, Bauholz, Paletten, Altmöbel, Sägemehl, Reste und Abfälle aus der Ernährungsindustrie einschließlich Küchen- und Speiseabfälle, Abfallgemüse, Altfette sowie Papier und Zellstoff, Textilien insbesondere aus Naturfasern und natürlichen Polymeren und tierische Exkrememente einschließlich Gülle, Pferdemist und Geflügelkot.

[0005] Bei den bisher bekannten Verfahren zur Verwertung von Biomasse zur Herstellung von Brennstoffen ist der Anteil des Kohlenstoffs, der beim Umsetzungsprozess verloren geht, relativ hoch. Der Kohlenstoffverlust liegt bei der alkoholischen Gärung über 30 Prozent, bei der Umsetzung zu Biogas bei etwa 50 Prozent, bei der Holzverkohlung bei etwa 70 Prozent und bei der Kompostierung über 90 Prozent. Dabei entweicht der Kohlenstoff als Kohlendioxid oder auch als Methan, die jeweils als klimaschädlich angesehen werden.

[0006] Die alkoholische Gärung hat nur einen geschätzten effektiven Wirkungsgrad von drei bis fünf Prozent der in den Pflanzen gespeicherten Primärenergie. Bei der Umwandlung von Biomasse in Biogas wird etwa die Hälfte des Kohlenstoffs wieder als CO₂ freigesetzt. Außerdem sind nur wenige Substrate für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Biogasanlage geeignet.

[0007] Weiter bleibt die bei den oben beschriebenen Prozessen freigesetzte Wärme weitgehend ungenutzt. Eine besondere Schwierigkeit besteht in der energetischen Verwertung von Biomasse mit einem hohen Feuchtigkeitsgehalt. Beim im Folgenden beschriebenen Verfahren ist jedoch die Anwesenheit von Wasser Voraussetzung für den chemischen Umsetzungs Vorgang. Bisherige Verfahren sind also durch mangelnde Effizienz, geringere energetischen Nutzbarkeit und Wirtschaftlichkeit in ihrer Anwendung begrenzt.

Beschreibung der Erfindung

[0008] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung,

ein Verfahren zu entwickeln, durch das Brennstoffe, Humus, kohlenstoffhaltige Werk- und Nutzstoffe sowie Maillard- beziehungsweise Maillard-ähnliche Reaktionsprodukte mit hoher Effizienz aus Biomasse, insbesondere im industriellen Maßstab, wirtschaftlich hergestellt werden können.

[0009] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gelöst, bei dem die Biomasse vor und/oder während der Behandlung zusätzlich bearbeitet wird und/oder die Reaktions-, Zwischen-, Neben- und/oder Endprodukte aufgearbeitet beziehungsweise prozessiert werden. Durch gezielte Vorbereitung beziehungsweise Vorbehandlung der Biomasse und weitere Bearbeitung der Biomasse während der Behandlung beziehungsweise des Reaktionsprozesses und/oder die Aufarbeitung der Reaktions-, Zwischen-, Neben- und/oder Endprodukte kann die Ausbeute an Brennstoffen, Humus, kohlenstoffhaltigen Werk- und Nutzstoffen und/oder Maillardbeziehungsweise Maillard-ähnlichen Reaktionsprodukten auf wirtschaftliche Weise erheblich gesteigert werden.

[0010] In besonders vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird das Verfahren semikontinuierlich oder kontinuierlich durchgeführt. Das bedeutet, dass die Behandlung der Biomasse, insbesondere während des Reaktionsprozesses, nicht diskontinuierlich, das heißt im Batch-Verfahren, durchgeführt wird. Vielmehr werden zur optimalen Reaktionsraumnutzung und zur Minimierung der Verweilzeiten Temperatur- und Druckverhältnisse weitgehend im Betriebsbereich gehalten. Gleichzeitig können während des laufenden Prozesses Ausgangsstoffe als auch Katalysatoren zeitversetzt in den Reaktionsraum eingebracht, Prozesswasser und nicht umgesetzte Ausgangsstoffe sowie andere zugeführte Medien entnommen und nach Bedarf recycelt (zurückgeführt) sowie Störstoffe, Reaktions-, Zwischen-, Neben- und/oder Endprodukte abgezogen werden. Parallel dazu können weitere Verfahrensschritte, wie beispielsweise die Aufarbeitung und/oder Reinigung von Prozesswasser, Abwasser, Abluft, Reaktions-, Zwischen-, Neben- und/oder Endprodukte kontinuierlich oder in Intervallen durchgeführt werden.

[0011] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Temperatur auf über 160 Grad Celsius, vorzugsweise zwischen 160 und 300 Grad Celsius, besonders bevorzugt zwischen 185 und 225 Grad, eingestellt und/oder dass die Temperatur automatisch gesteuert wird.

[0012] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Druck auf mindestens 7 bar, vorzugsweise zwischen 10 und 34 bar, besonders bevorzugt zwischen 10 und 17 bar, 18 und 26 bar oder 27 und 34 bar, eingestellt wird.

[0013] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Behandlungsdauer mindestens 2 Stunden, vorzugsweise 3 bis 60 Stunden, besonders bevorzugt 5 bis 30 Stunden oder 31 bis 60 Stunden, insbesondere 6 bis 12 Stunden oder 13 bis 24 Stunden, beträgt.

[0014] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Behandlungsdauer in Abhängigkeit von der Art der Biomasse und/oder dem gewünschten Reaktionsprodukt gewählt wird.

[0015] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Biomasse vorbehandelt wird, vorzugsweise durch Entwässerung, Zerkleinerung, Vorinkubation mit Hilfsstoffen, Vermischung und/oder Vorwärmung.

[0016] Teil der Vorbehandlung kann auch die Inkubation in einem sauren Milieu oder Medium sein, beispielsweise bei einem pH-Wert, der unter 6, bevorzugt unter 5, besonders bevorzugt unter 4, insbesondere unter 3 und dabei vorzugsweise unter 2 liegt. Die erforderliche Zeitdauer des Schrittes nimmt mit zunehmender Zerkleinerung und mit sinkendem pH-Wert ab. Die Inkubation bei saurem pH-Wert kann nach dem Zerkleinern erfolgen.

[0017] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Biomasse vor, während und/oder nach der Behandlung zerkleinert, vorzugsweise gehäckselt und/oder gemahlen, wird. Dabei sollte die Partikelgröße der zerkleinerten Biomasse vorzugsweise unter 10 cm, besonders bevorzugt unter 1 cm, insbesondere unter 2 mm, liegen.

[0018] Der Biomasse kann vor und/oder während der Behandlung mindestens ein Katalysator mit oder ohne Zugabe von Wasser und/oder einer wässrigen Lösung zugegeben werden. Der Katalysator kann aus mindestens einer oder auch mehreren, verschiedenen Komponenten bestehen. Diese bilden dann gemeinsam ein Katalysatormischung. Eine Komponente des Katalysators kann beispielsweise aus einer Säure bestehen. Diese kann in vorteilhafter Weise eine Carbonsäure und insbesondere eine Protensäure verwendet werden. Als vorteilhaft hat sich die Verwendung einer Di- oder Tricarbonsäure, und vor allem von Weinsäure oder Zitronensäure herausgestellt. Sowohl Zitronensäure als auch Weinsäure sind kristallin und nicht toxisch. Beide kommen in der Natur in Früchten vor (Zitronensäure in Zitrusfrüchten wie zum Beispiel Zitronen, Weinsäure in Weintrauben). Es kann in besonders vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung aber beispielsweise auch eine anorganische Säure sein, vorzugsweise Schwefelsäure. Die Säure, die als Katalysatorkomponente eingesetzt wird, kann gleichzeitig auch zur Herstellung des sauren Mediums für den Inkubationsschritt eingesetzt werden.

[0019] Der Katalysator oder das Katalysatormisch kann, insbesondere auch zusätzlich, ein oder mehrere Metalle und/oder Metallverbindungen umfassen. Es kommen vorzugsweise Übergangsmetalle der Nebengruppen Ia, IIa, IVa, Va, VIa, VIIa und VIIIa des periodischen Systems der Elemente wie beispielsweise Eisen, Nickel, Kobalt, Kupfer, Zink, Rhodium, Palladium, Platin, Silber, Vanadium, Chrom, Wolfram, Molybdän und/oder Titan zum Einsatz, wobei sich Eisen als besonders vorteilhaft herausgestellt hat. Besonders bevorzugt sind auch Oxide dieser Metalle, beispielsweise Vanadiumoxid (V_2O_5), Kupferoxid (CuO), Zinkoxid (ZnO) und/oder Chromoxid (Cr_2O_3). Aber auch Metalle der Hauptgruppen des periodischen Systems der Elemente bzw. deren Oxide, beispielsweise Aluminiumoxid (Al_2O_3) können in vorteilhafter Weise als Katalysator eingesetzt werden.

[0020] Zusätzlich oder alternativ können vor der Behandlung der Biomasse auch Biokatalysatoren verwendet werden, um die Umsetzung der Biomasse in Brennstoffe, kohlenstoffhaltige Werk- und Nutzstoffe, Humus und/oder Maillard- bzw. Maillard-ähnliche Reaktionsprodukte zu beschleunigen. Dabei können beispielsweise Enzyme, Mikroorganismen (insbesondere Bakterien und/oder Pilze), pflanzliche Zellen, tierische Zellen und/oder Zellextrakte in freier und/oder immobilisierter Form eingesetzt werden. Biokatalysatoren können aufgrund der extremen Bedingungen während der Behandlung der Biomasse ausschließlich bei der Bearbeitung der Biomasse, insbesondere der Vorbehandlung, und/oder der Aufarbeitung der Reaktions- und/oder Nebenprodukte eingesetzt werden.

[0021] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Biomasse vor und/oder während der Behandlung gemischt wird, vorzugsweise durch Rühren, Mischen, Suspendieren und/oder Aufwirbeln. Dabei kann bzw. können zum Mischen eine oder mehrere Mischvorrichtung(en), insbesondere eine Kombination verschiedener Mischvorrichtungen, vorzugsweise mindestens ein Flüssigkeitsstrahlmischer, -pumpe oder eine Düse, eingesetzt werden. Erfindungsgemäß bevorzugt sind Mischvorrichtungen, die ohne bewegliche Teile im Reaktionsraum auskommen.

[0022] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Reaktionsprodukte nach der Behandlung mit einem Trockner oder einer Kombination verschiedener Trocknungsverfahren, vorzugsweise einem Konvektions- oder Kontaktrockner, besonders bevorzugt mit einem Strom- und/oder Band- und/oder Wirbelschichtrockner, getrocknet werden.

[0023] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass im Laufe des erfin-

dungsgemäßen Verfahrens anfallendes Prozesswasser, vorzugsweise durch mindestens eine Vorrichtung zur Fest-Flüssig-Trennung, abgezogen wird und/oder gereinigt und in das Reaktionsgemisch zurückgeführt wird. Die Vorrichtung zur Fest-Flüssig-Trennung kann beispielsweise mindestens eine Vorrichtung zur Mikro-, Ultra-, Nanofiltration- und zum Umkehrosmosteeverfahren oder eine Kombination verschiedener vorgenannter Vorrichtungen, bevorzugt mit keramischen Filterelementen und besonders bevorzugt ein Rotationsscheiben und/oder ein Zentrifugalmembranfilter, sein.

[0024] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass anfallendes Abwasser mechanisch, chemisch und/oder biologisch gereinigt wird.

[0025] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass bei der Behandlung, Bearbeitung und/oder Aufarbeitung anfallende Abluft mechanisch, chemisch und/oder biologisch gereinigt wird.

[0026] Die Erfindung betrifft also ein Verfahren, insbesondere einen kontinuierlichen oder semikontinuierlichen Prozess, zur industriellen Herstellung von verschiedenen Reaktions-, Zwischen-, Neben- und/oder Endprodukten. Die Reaktions-, Zwischen-, Neben- und Endprodukte können beispielsweise Brennstoffe von Torf, über Braunkohle bis zu Steinkohleähnliche Brennstoffe, Humus, Maillard- oder Maillard-ähnliche Reaktionsprodukte, kohlenstoffhaltige Werkstoffe wie Dämmstoffe, Nanoschwämme, -kügelchen, -fasern, -kabel, Aktiv- oder Sorptionskohle, Grillkohleersatzstoff, hochverdichtete Kohlenstoffprodukte und Werkstoffe und insbesondere auch Ausgangsstoffe für Graphit und graphithaltige oder -artige Produkte sowie Kohlenstofffasern und Ausgangsstoffe für Verbund- oder Faserverbundwerkstoffe umfassen.

[0027] Dabei wird durch Zufuhr von Druck und Hitze das Grundprinzip der hydrothermalen Karbonisierung genutzt, um in dem effizienten und äußerst wirtschaftlichen erfindungsgemäßen Verfahren feuchte Biomasse unter Freisetzung von Wärmeenergie zunächst zu depolymerisieren und hydrolysieren. Die Polymerisation der entstandenen Monomere führt innerhalb weniger Stunden zum Aufbau kohlenstoffhaltiger Reaktionsprodukte. Gewünschte Reaktionsprodukte werden in Abhängigkeit von den Reaktionsbedingungen hergestellt. Beispielsweise entsteht nach kürzerer Reaktionsdauer unter anderem zunächst Humus und im weiteren Reaktionsverlauf Brennstoffe mit steigendem Kohlenstoffgehalt, die zur Energiegewinnung geeignet sind.

[0028] Die Aufgabe wird auch durch die Herstellung von verschiedenen Reaktions-, Zwischen-, Neben-

und/oder Endprodukten nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gelöst, einschließlich der Herstellung von Brennstoffen von Torf, über Braunkohle bis zu Steinkohleähnlichen Brennstoffe, Humus, Maillard- oder Maillard-ähnlichen Reaktionsprodukte, kohlenstoffhaltige Werkstoffe wie Dämmstoffe, Nanoschwämme, -kügelchen, -fasern, -kabel, Aktiv- oder Sorptionskohle, Grillkohleersatzstoff, hochverdichtete Kohlenstoffprodukte und Werkstoffe und insbesondere auch Ausgangsstoffe für Graphit und graphithaltige oder -artige Produkte sowie Kohlenstofffasern und Ausgangsstoffe für Verbund- oder Faserverbundwerkstoffe.

[0029] Erfindungsgemäß kann das Verfahren auch eine Vorstufe zur Erzeugung von Energie aus Biomasse sein, bei dem ein Brennstoff nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wird und dieser Brennstoff anschließend zur Energieerzeugung konditioniert wird. Die Konditionierung kann dabei beispielsweise aus einer Herstellung von Pellets oder Briketts aus staubförmigem oder humusartigem Brennstoff bestehen. In vorteilhafter Ausgestaltung dieses Verfahrens ist dann vorgesehen, den konditionierten Brennstoff zur Energieerzeugung zu verwenden und insbesondere zu verbrennen. Erfindungsgemäß kann ein Verfahren zur Erzeugung von verschiedenen Energieformen einschließlich von Wärmeenergie und/oder elektrischem Strom durchgeführt werden, bevorzugt eine Kombination derselben unter Verwendung des erfindungsgemäß hergestellten Brennstoffs. Erfindungsgemäß können ferner verschiedene Kombinationen zur Erzeugung von verschiedenen Energieformen aus unterschiedlichen erneuerbaren Energieträgern einschließlich anderer fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, fossilen Brennstoffen, Wasserkraft, Solar- und/oder Windenergie und verschiedener Speicherformen vorgenannter Energieträger und -erzeugungssystemen und unter Verwendung des erfindungsgemäß hergestellten Brennstoffs eingesetzt werden.

[0030] Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zur Erzeugung von Energie bevorzugt solcher, bei denen eine Dampf- und/oder Gasturbine zum Einsatz kommt, einschließlich solcher Verfahren, bei denen der erfindungsgemäße Brennstoff verwendet wird, in Kombination mit speicherbaren Energiearten durch Windkraft insbesondere von Druckluft und besonders bevorzugt des Dispatchable Wind Power Systems (DWPS).

[0031] Die Erfindung betrifft ferner die Verwendung eines erfindungsgemäß hergestellten Brennstoffs zur Erzeugung von Energie aus Biomasse.

[0032] Unter Behandlung der Biomasse im Sinne der Erfindung werden alle Einwirkungen auf die Biomasse verstanden, die der Umwandlung der Biomasse

in die Reaktionsprodukte dienen, insbesondere die Zufuhr von Energie zur Inangangsetzung und Aufrechterhaltung der Umsetzungsreaktion, einschließlich der Behandlung der Biomasse bei einer Temperatur von über 100 Grad Celsius und einem Druck von über 5 bar.

[0033] Bearbeitung der Biomasse im Sinne der Erfindung ist die Bearbeitung der Ausgangsstoffe, Reaktions- und/oder Zwischenprodukte in verschiedenen Schritten vor und nach dem chemischen Umsetzungsprozess. Bearbeitung umfasst sämtliche Schritte, Vorgänge und Einwirkungen auf die Reaktionspartner einschließlich der Vorbehandlung und/oder Nachbehandlung.

[0034] Unter Vorbehandlung werden alle Einwirkungen verstanden, die bis zum Abschluss des Befüllungsvorgangs des Reaktionsraums und dem Beginn der Zufuhr von Energie zur Inangangsetzung der Umsetzungsreaktion auf die Biomasse einwirken, durch die diese sich von der in der unberührten Natur vorkommenden Biomasse unterscheidet. Insbesondere zählt zur Vorbehandlung auch eine Vorwärmung der Ausgangsstoffe sowie eine Zerkleinerung mit vorwiegender, d. h. mehr als zwei Drittel der Bestandteile des Reaktionsgemischs, Partikelgröße von unter 10 mm innerhalb oder außerhalb des Reaktionsraums.

[0035] Aufarbeitung und/oder Konditionierung der Reaktionsprodukte und/oder Nebenprodukte im Sinne der Erfindung umfasst alle Einwirkungen auf die Neben- und/oder Endprodukte der Umsetzungsreaktion, mittels derer diese in die gewünschte oder erforderliche Form gebracht werden.

[0036] Unter semikontinuierlichem oder kontinuierlichem Verfahren im Sinne der Erfindung ist die Herstellung von Reaktions-, Zwischen-, Neben- und Endprodukten im Technikums- und/oder industriellen Maßstab zu verstehen, bei der mindestens ein Kriterium, bevorzugt zwei und besonders bevorzugt mehrere der unten angeführten Kriterien erfüllt sind:

1. Die Temperatur, insbesondere in mindestens einem Druckbehälter, Reaktor oder Anlagenbestandteil, liegt über mindestens zwei Reaktionszyklen hinweg kontinuierlich oberhalb von 40 bis 90 Grad Celsius, bevorzugt von 60 bis 70 Grad Celsius und/oder oberhalb der Siedetemperaturen des Prozesswassers bei einem bar Absolutdruck.
2. Der Druck, insbesondere in mindestens einem Druckbehälter, Reaktor oder Anlagenbestandteil, liegt über mindestens zwei Reaktionszyklen hinweg kontinuierlich oberhalb von einem bar Absolutdruck.
3. Die Bearbeitung der Biomasse, Reaktions-, Neben-, Zwischen- und/oder Endprodukte oder andere Reaktionsteilnehmer wird in mehr als einem Behälter durchgeführt.
4. Das Gesamtvolumen der Behälter, in denen

diese Bearbeitung stattfindet, beträgt mindestens 500 Liter.

5. Es wird vorbehandelte Biomasse und/oder unterschiedliche Arten von Biomasse, insbesondere von unterschiedlicher Beschaffenheit und Konsistenz, während eines Reaktionszyklus eingesetzt.

6. Verschiedene Ausgangsstoffe der Biomasse, Reaktions-, Neben-, Zwischen- und/oder Endprodukte und/oder andere Reaktionsteilnehmer, einschließlich Katalysatoren und/oder Treib- oder Temperierungsmittel wie zum Beispiel Wasser, insbesondere Prozesswasser und/oder Gas wie Prozess-/Synthesegas, werden während eines Reaktionszyklus gleichzeitig, zeitversetzt, kontinuierlich oder diskontinuierlich dem Reaktionsgemisch zugeführt oder abgezogen.

7. Die Vorgänge unter 6. finden statt, während die Temperatur von Druckbehälter, Reaktor oder anderen Anlagenbestandteilen oberhalb von 60 bis 70 Grad Celsius oder oberhalb der Siedetemperaturen des Prozesswassers bei einem bar Absolutdruck oder während der Druck mindestens eines Anlagenbestandteils oberhalb von einem bar Absolutdruck liegt.

8. Das Reaktionsgemisch wird innerhalb eines zusammenhängenden Prozesses, insbesondere innerhalb einer Anlage, behandelt.

9. Vor und/oder während des Reaktionszyklus werden die Ausgangsstoffe oder das Reaktionsgemisch in Bewegung versetzt durch Einbringung von kinetischer Energie, insbesondere durch mindestens ein Rühr- oder Mischsystem oder eine Kombination von Rühr- oder Mischsystemen gleich welcher Art, bevorzugt unter Beteiligung mindestens eines nicht mechanischen Rühr- oder Mischsystems, wobei bei Verwendung eines einzelnen Systems, dieses keine magnetische Kupplung mit nur einer Welle aufweist und gleichzeitig auch nicht elektrisch betrieben wird.

10. Vor und/oder während des Zyklus wird den Ausgangsstoffen oder dem Reaktionsgemisch thermische Energie zu- und/oder abgeführt wird, insbesondere unter Verwendung mindestens eines Temperierungssystems oder einer Kombination aus verschiedenen Systemen oder Vorrichtungen, wobei bei Verwendung eines einzelnen Systems dieses vorzugsweise kein handelsüblicher Ofen ist und/oder keine wandständige Wärmeübertragung durch ein mit wenigen Handgriffen trennbares beheiztes Mantelgefäß, das elektrisch betrieben wird, aufweist.

[0037] Unter Behälter wird ein nach oben offener oder geschlossener Gegenstand verstanden, der in seinem Inneren einen Hohlraum aufweist, der insbesondere dem Zweck dient, seinen Inhalt von seiner Umwelt zu trennen. Ein Behälter, in dem die Umsetzungsreaktion, d. h. die Behandlung der Biomasse, und/oder die Bearbeitung der Biomasse durchgeführt wird, beispielsweise ein Druckbehälter oder ein Re-

aktor, wird durch einen nach außen abgeschlossenen Reaktionsraum oder Druckbehälterraum gebildet. Reaktionsräume oder Druckbehälterräume werden definiert durch das Vorliegen von räumlichen Bereichen auch innerhalb nur eines Reaktions- oder Druckbehälterraums, in denen messbare voneinander abweichende Reaktionsbedingungen herrschen. Eine abweichende Reaktionsbedingung kommt dabei durch eine konstruktive, mechanische, strömungs- und/oder phasenbedingte, chemische, elektrische, oder elektrochemische oder anders geartete Einwirkung zustande. Die zu diesem Zweck verwendete Vorrichtung geht in der Regel über ein elektrisch betriebenes Rühr- oder Mischsystem mit einer einzigen Welle mit magnetischer Kupplung sowie über eine wandständige Wärmeübertragung einer druckbelasteten glatten Innenseite der äußeren Reaktorwand durch ein mit wenigen Handgriffen trennbares beheiztes Mantelgefäß, das elektrisch betrieben wird, eines Autoklaven für Laborzwecke hinaus.

[0038] Als Reaktionszyklus, Zyklus oder Reaktion wird die Dauer einer einzelnen Umsetzungsreaktion verstanden, die mit der Einbringung der Ausgangsprodukte in den Reaktionsraum und der Zufuhr von Energie beginnt, die der Inangasetzung der Umsetzungsreaktion dient. Ein Zyklus dauert vom Start des Reaktionsprozesses bis zum Vorliegen des gewünschten Reaktionsprodukts im Reaktionsgemisch ohne Nachbehandlung oder Konditionierung beziehungsweise bis zur Beendigung des Reaktionsprozesses.

[0039] Zu Rühr- oder Mischsystemen zählen Vorrichtungen, die die Energie mechanisch oder mittels Ultraschall, strömungsbedingt, thermisch oder konstruktionsbedingt auf das Reaktionsgemisch übertragen und dadurch eine Bewegung des Reaktorinhalts durch Durch- oder Aufmischen bewirken. Dazu zählt auch die Bewegung des Reaktionsgemischs durch Vorrichtungen wie Pumpen, Flüssigkeitsstrahlmischer, Düsen sowie mechanische und thermische Mischer oder die Führung des Reaktionsgemischs entlang von Druckgradienten.

[0040] Eine Anlage besteht aus mindestens zwei Vorrichtungen oder Einrichtungen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0041] Ein zusammenhängender Prozess liegt vor, wenn Vorrichtungen oder Einrichtungen einer Anlage gemeinsam genutzt werden. In einer solchen Anlage können mehr als 200 Kilogramm Biomasse pro Woche bezogen auf die Trockensubstanz verarbeitet werden. Eine Anlage wird dann gemeinsam genutzt, wenn Vorrichtungen oder Einrichtungen miteinander oder durch Leitungsverbindungen oder räumlich durch Wege miteinander verbunden sind, die einen Austausch von Ausgangs-, Zwischen-, Neben- und Reaktionsprodukten sowie anderen Reaktionsteil-

nehmern beziehungsweise die gemeinsame Nutzung desselben innerhalb eines Radius von 50 km erlauben.

[0042] Der Beginn oder das Einsetzen der Reaktion oder des Reaktionsprozesses ist durch das Erreichen mindestens eines Zielparameters der Reaktionsführung einschließlich Druck oder Temperatur gekennzeichnet, bei denen die Umsetzungsreaktion der hydrothermalen Karbonisierung über einen Zeitraum von mindestens einer Stunde stattfinden kann. Das Ende des Reaktionsprozesses ist durch das kontinuierliche Verlassen mindestens eines der Zielparameter der Reaktionsführung vor der Entleerung des Reaktionsraums charakterisiert.

[0043] Reaktions-, Zwischen- oder Nebenprodukte oder -partner im Sinne der Erfindung sind alle festen, flüssigen und gasförmigen Stoffe, die sich unabhängig von ihrer Aufenthaltsdauer im Reaktionsraum unter Betriebsbedingungen (Druck größer 5 bar, Temperatur größer 100 Grad) befinden oder befunden haben.

[0044] Suspensionen und Dispersionen sind beides heterogene Fest-Flüssig-Gemische. Unter Suspension wird ein heterogenes (nicht mischbar) Stoffgemisch aus einer Flüssigkeit und einem Feststoff verstanden. Eine Suspension besitzt mindestens eine feste Phase und mindestens eine flüssige Phase. Zu dispersen Systemen, d. h. binäre Mischungen aus kleinen Partikeln und einem kontinuierlichen Dispersionsmedium, zählen kolloidale Dispersionen, Mizellen, Vesikel, Emulsionen, Gele u. Aerosole wie beispielsweise Anstrichfarben, Emulsionen und Schäume.

[0045] Unter Maillard-ähnlichen Reaktionsprodukten werden im Sinne der Erfindung Verbindungen verstanden, die Zwischen-, Neben-, Endprodukte oder Reaktionspartner von Maillard-Reaktionsprodukten sind und über ähnliche chemische, physikalische oder biologische Eigenschaften verfügen können. Zu diesen Verbindungen zählen zum Beispiel die Advanced Glycation Endproducts (AGE) die durch Umlagerung der primären Amadori-Produkte entstehen und weiter zu den Endprodukten der Maillard-Reaktion, den Advanced Glycation Endproducts (AGE) reagieren. Durch Umlagerung und Polymerisation können die AGEs Quervernetzungen mit anderen Proteinen ausbilden. Aufgrund des Entstehungsweges gibt es sehr viele verschiedene und komplexe Formen von AGEs, wobei Nε-(carboxymethyl)Lysin (CML), Furosin und Pentosidin bisher am intensivsten untersucht wurden.

[0046] Unter Polytetrafluorethylen (PTFE)-ähnlichen Stoffen werden Stoffe und Verbindungen ähnlicher, verwandter oder nicht-verwandter Klassen verstanden, die mindestens eine oder mehrere Eigen-

schaften von Polytetrafluorethylen wie zum Beispiel Reaktionsträgheit, sehr geringen Reibungskoeffizienten, sehr niedrige Brechzahl, hohe Wärmebeständigkeit, geringe Haftbeständigkeit von Oberflächen-Verschmutzungen oder glatte Oberfläche besitzen.

Beschreibung beispielhafter und bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung

[0047] Im Folgenden wird die Erfindung beispielhaft näher erläutert.

[0048] Da Biomasse eine komplexe Mischung variabler Zusammensetzung ist und die unterschiedlichen Reaktionszwischenprodukte durch die ständige Durchmischung miteinander reagieren, ist es schwierig, einzelne Reaktionen in ihrer zeitlichen Abfolge und innerhalb des Reaktionsnetzwerks präzise zu charakterisieren. Der Umsetzungsprozess lässt sich grob in vier Phasen unterteilen:

1. Aufwärmehase:

[0049] Die Biomasse wird auf Temperatur und Druck gebracht. Durch Zuführung von Energie wird die Depolymerisationsphase eingeleitet. Bereits während der Aufwärmehase kommt es initial insbesondere bei Biomassen mit hohem Kohlehydratanteil zu Quellungsreaktionen. Dabei wird Wasser zwischen Polysacchariden in der Zellwand eingelagert. Während des Quellungsprozesses kommt weiter vorübergehend zur Ausbildung von gallertartigen im weiteren Verlauf auch kolloidalen Strukturen, die sich im weiteren Verlauf der Depolymerisationsphase wieder auflösen.

2. Depolymerisationsphase:

[0050] Dabei werden die ursprünglichen Strukturproteine aufgelöst, die insbesondere im Fall von pflanzlicher Biomasse vor allem aus polymerisierten Strukturproteinen Cellulose, Hemicellulose und Lignin bestehen. Es entstehen mono- und oligomere Kohlenstoffverbindungen. Je höher der Anteil an widerstandsfähigen und vernetzten Strukturproteinen ist und je kleiner die Oberfläche der Ausgangsstoffe ist, desto mehr Zeit wird für die Depolymerisationsphase benötigt. Gleichzeitig kommt es zur Hydrolyse, das heißt es kommt zur Spaltung von chemischen Verbindungen durch Reaktion mit Wasser. Je höher der Anteil an Kohlehydraten, nicht-pflanzlichen und Nichtstruktur-Proteinen und Fetten, beziehungsweise je geringer der Anteil an lignocellulosehaltiger Biomasse desto schneller verläuft diese Phase. Gegen Ende dieser Phase steigt die Wärmeenergiefreisetzung an und es hat sich ein Rohöl-ähnlicher Stoff gebildet.

3. Polymerisationsphase:

[0051] Die monomerisierten und unvernetzten Kohlenstoffverbindungen werden neu strukturiert und vernetzt. Es bilden sich Agglomerate, die sich makroskopisch an die ursprünglichen Grobstrukturen der Ausgangsstoffe anlehnen, aber den inneren Zusammenhalt im Hinblick auf die übergeordnete Struktur verloren haben und damit auch ihre Fasrigkeit und Festigkeit. Die neu gebildeten Strukturen, die eine höhere Brüchigkeit und Porosität aufweisen, bestehen in Zwischen- aber auch in Endstadien aus kleinen Partikeln mit einem Durchmesser von einigen hundert Mikrometern bis zu 5 Nanometer und kleiner. Es bilden sich neue Kohlenstoffverbindungen, die Ähnlichkeiten mit denen in natürlicher Kohle aufweisen. Sie bestehen unter anderem aus verschiedenen Guajacyl-, Cumaryl-, Syringyl- und Fettsäuremethylestern sowie Terpenderivaten. Gleichzeitig nehmen die Konzentrationen verschiedener Chemolysatbestandteile ab, insbesondere die bestimmter Cumaryl- und Guajacylverbindungen. Zu den wichtigsten Unterscheidungsmerkmalen gegenüber fossilen Brennstoffen zählt vor allem das Vorliegen von Maillard-Reaktionsprodukten in der flüssigen und festen Phase der Reaktionsprodukte.

4. Stabilisierungsphase:

[0052] Während die Depolymerisations- und Polymerisationsphase exotherm ablaufen, nimmt in dieser Phase die Wärmeenergiefreisetzung deutlich ab und die Reaktion läuft in der Stabilisierungsphase aus und kommt schließlich zum Stillstand.

[0053] Die Eigenschaften des Reaktionsprodukts wie Reinheitsgrad, Form, Struktur, Dichte, Festigkeit, Partikelgröße, Oberflächenstruktur, Zusammensetzung, Verbrennungseigenschaften, Brennwert und Energiegehalt sind abhängig von den Verfahrensbeziehungsweise Reaktionsbedingungen, also von den Parametern, die für die Steuerung des erfindungsgemäßen Verfahrens, das heißt für die Prozessführung, verantwortlich sind. Die Reaktionsbeziehungsweise Verfahrensführung wird unter anderem durch folgende Faktoren beeinflusst:

1. Zusammensetzung und Eigenschaften der Edukte einschließlich Dichte, Partikelgröße, Feuchtigkeitsgehalt, Reinheit, Kohlenstoff-, Mineralien- und Alkaligehalt etc.
2. Verhältnis zwischen fester und flüssiger Phase beziehungsweise Trockenmasse und Prozesswasser.
3. Temperatur, Druck, sowie die Schwankungsbreite dieser Parameter.
4. Katalysatoren: Auswahl, Zusammensetzung, Konzentrationen, Partikelgröße, Mischungsverhältnis und Zuführungszeitpunkte. Die Reaktion kann beschleunigt und gelenkt werden durch die Zuführung von Katalysatoren beziehungsweise

Katalysatorgemischen zu späteren Zeitpunkten im Reaktionsverlauf. Dadurch kann die Eigenschaften des Reaktionsprodukts beeinflusst werden. Eine wesentliche Rolle zur Formgebung und Struktur des Endprodukts spielt die Partikelgröße des metallischen Katalysators. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird wesentlich durch die Stärke der Säure (pK_s -Wert) mitbestimmt.

5. Wärmeaustauschsysteme und Geschwindigkeit von Temperaturanpassungen, pH-Wert, Konzentrationsverhältnisse, auch im Prozesswasser.

6. Stoffliche Veränderung des Reaktionsgemischs: Unter anderem Zunahme der Dichte und Brüchigkeit während der Umsetzungsreaktion.

7. Geschwindigkeit der Polymerisation, denn desto schneller der Verlauf der Polymerisation, desto reiner das Reaktionsprodukt.

8. Art der Durchmischung und des Energieeintrags, Strömungsgeschwindigkeit und Scherkräfte sowie Mischungsintervalle und Zeitpunkte.

9. Prozesswasser: Konzentration von Alkalisalzen, Säuren, Elementen wie Chlor, Schwefel und ihre Salze sowie Metalle und Mineralien einschließlich Phosphor- und Nitratverbindungen. Aufreinigungsverfahren des Prozesswassers während und außerhalb des laufenden Prozesses.

10. Konzentration von Störstoffen wie zum Beispiel Sand oder Stoffe, die den Reaktionsverlauf behindern, verlangsamen, verzögern oder zu unerwünschten Nebenprodukten oder aus Ausfällungen führen.

11. Art der Durchführung einschließlich der Intensität und Dauer der hier genannten Verfahrensschritte.

12. Auswahl, Kombination, Zusammenwirken und Steuerung der Temperierungs- und Mischsysteme.

13. Auswahl, Kombination, Leistungsfähigkeit und Effizienz der Prozesswasseraufbereitung und -führung einschließlich Berücksichtigung der erforderlichen Anpassung an variable Reaktionsvolumina durch die Prozesswasser- und Stoffzufuhr beziehungsweise -entnahme.

[0054] Bevorzugte Verfahrensschritte können beispielsweise sein:

1. Bereitstellung von Ausgangsstoffen einschließlich Biomasse, Ausgangsstoffen, Katalysatoren und Wasser.
2. Vorbehandlung
 - a. Entwässerung und/oder Trocknung der Ausgangsstoffe
 - b. Zerkleinerung der Ausgangsstoffe und gegebenenfalls der Katalysatoren
 - c. Metall- und Störstoffentfernung
3. Inkubation mit Katalysator, insbesondere mit Säure
4. Beimischung eines oder mehrerer weiterer Katalysatoren

5. Vorwärmung der Biomasse
6. Verdichtung, zum Beispiel bei Einführen in den Reaktor
7. Einbringen in Druckbehälter oder Reaktionsraum
8. Aufwärmen
9. Prozesswasseraufbereitung und Luftreinigung
10. Ausbringung des Reaktionsprodukts aus dem Reaktionsraum
11. Abtrennung von Reaktions-, Zwischen-, Neben- und/oder Endprodukte aus dem Reaktionsgemisch
12. Trocknen des gewünschten Reaktionsprodukts
13. Zerkleinern des gewünschten Reaktionsprodukts
14. Abkühlen des gewünschten Reaktionsprodukts
15. Konditionierung
16. Energiegewinnung, insbesondere durch thermische Verwertung.

[0055] In verschiedenen Schritten vor und nach dem chemischen Umsetzungsprozess werden die Ausgangsstoffe sowie die Reaktions-, Zwischen-, Neben- und/oder Endprodukte bearbeitet. Die Bearbeitungsschritte zielen auf eine Stoffumsetzung im industriellen oder Technikumsmaßstab ab. So ist unter Bearbeitung mehr als ein händisches Zerlegen oder eine manuelle Zerkleinerung mit einer Schere zu verstehen. Die Bearbeitung der Biomasse und/oder Aufarbeitung der Reaktionsprodukte und/oder der Nebenprodukte geht beim erfindungsgemäßen Verfahren über ein elektrisch betriebenes Rühr- oder Mischsystem mit einer einzigen Welle mit magnetischer Kupplung sowie über eine wandständige Wärmeübertragung einer druckbelasteten glatten Innenseite der äußeren Reaktorwand durch ein mit wenigen Handgriffen trennbares beheiztes Mantelgefäß, das elektrisch betrieben wird, hinaus. Sie umfasst auch die unter Punkt 9 und 10 der für das semikontinuierliche oder kontinuierliche Verfahren genannten Kriterien zum Rühr- oder Mischsystem und/oder Temperierungssystem.

[0056] Vorzugsweise wird die Biomasse in der Regel bereits vor der Lagerung und besonders vor dem eigentlichen Umsetzungsprozess, insbesondere vor und/oder nach dem Einfüllen in den Reaktionsraum, zerkleinert. Die Zerkleinerung erfolgt insbesondere auf mechanischem Wege bevorzugt durch Häckseln und besonders bevorzugt mittels einer Vorrichtung zum Mahlen beispielsweise einer Schrottmühle. Je nach Ausgangsstoff und gewünschter Partikelgröße kommen unterschiedliche Häcksler- und/oder Mühlen typen zum Einsatz. Die Partikelgröße hat wesentlichen Einfluss auf den Reaktionsverlauf. Denn je kleiner die Partikelgröße desto größer ist die Oberfläche der Ausgangsstoffe. Je größer die Oberfläche der Reaktionspartner, desto schneller die chemische

Umsetzung. Daher sollte die Partikelgröße der zerkleinerten Biomasse unter 10 cm, bevorzugt unter 1 cm und besonders bevorzugt unter 2 mm liegen. Der Energie-, Zeit-, und Materialaufwand beim Zerkleinerungsprozess ist dabei von der Prozessführung und insbesondere von der Beschaffenheit des Ausgangsstoffs, Partikelgröße und Verweildauer abhängig.

[0057] Teil der Vorbehandlung ist auch die Inkubation in einem sauren Milieu oder Medium bei einem pH-Wert, der unter 6, bevorzugt unter 5, besonders bevorzugt unter 4, insbesondere unter 3 und dabei vorzugsweise unter 2 liegt. Die erforderliche Zeitdauer dieses Schrittes nimmt mit zunehmender Zerkleinerung und mit sinkendem pH-Wert ab. Die Inkubation bei saurem pH-Wert kann beispielsweise nach dem Zerkleinern erfolgen.

[0058] Insbesondere metallische, anorganische oder sandähnliche Stoffe und andere Störstoffe werden von der Biomasse getrennt. Es werden Verfahren und Prozesse angewandt, wie sie im Rahmen der Behandlung von Biomasse und Biomüll zum Beispiel in Biogasanlagen etabliert sind.

[0059] Nach Vorinkubation im sauren Medium aber auch zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt kann ein Katalysator mit oder ohne Zugabe von Wasser und/oder in einer wässrigen Lösung dazu gegeben werden. Der Katalysator kann aus mindestens einer oder auch mehreren, verschiedenen Komponenten bestehen. Diese bilden dann gemeinsam ein Katalysatormisch. Eine Komponente des Katalysators kann beispielsweise aus einer Säure bestehen. Die Reaktionsführung wird entscheidend durch Auswahl, Zusammensetzung, Konzentrationen, Partikelgröße, Mischungsverhältnis, Zuführungszeitpunkte der Katalysatoren beeinflusst. Diese Katalysator-abhängigen Faktoren haben daher großen Einfluss auf die Formgebung, Gestalt und Eigenschaften des Endprodukts. Eine wesentliche Rolle zur Formgebung und Struktur des Endprodukts spielt die Partikelgröße des metallischen Katalysators. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird wesentlich durch die Stärke der Säure (pK_s -Wert) bestimmt. Werden zum Beispiel Partikel kleiner zehn Mikrometer, bevorzugt 200 bis 1000 Nanometer und besonders bevorzugt 10 bis 199 Nanometer eingesetzt, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung gleichmäßiger faserähnlicher Nanostrukturen. Je kleiner die Partikelgröße desto klarer definiert sind die faserartigen Strukturen der neuen Kohlenstoffverbindungen. Allerdings spielt für die Lenkung des Reaktionsverlaufs zur Herstellung von definierten Nanostrukturen der Kohlehydratgehalt sowie die Partikelgröße und eine möglichst einheitliche Partikelgröße des Ausgangsstoffs eine entscheidende Rolle. Die Reaktion kann beschleunigt und gelenkt werden durch den Zeitpunkt der Zuführung von Katalysatoren beziehungsweise Katalysatormischungen. Auch eine Zuführung

zu späteren Zeitpunkten im Reaktionsverlauf kann in Abhängigkeit vom erwünschten Endprodukt sinnvoll sein. Als Säuren kommen auch anorganische Säuren zum Einsatz, bevorzugt Mineralsäuren, besonders bevorzugt starke Säuren, das heißt Säuren mit einem möglichst niedrigem pK_s . Die eingesetzten Säuren und ihre Reaktionsprodukte sollen nicht giftig sein und eine minimale korrosive Wirkung haben. Weiter sollen sie im Reaktionsprodukt möglichst nicht mehr nachweisbar sein und stoffliche Bestandteile möglichst leicht aufzureinigen sein. Schwefelsäure, die auch Lebensmittelzusatzstoff Verwendung findet, erfüllt die meisten Anforderungen und ist daher besonders geeignet. Es können auch verschiedene Säuren kombiniert werden. Alternativ oder zusätzlich werden Carbonsäuren und insbesondere Protonensäuren eingesetzt. Als besonders vorteilhaft hat sich die Verwendung einer Di- oder Tricarbonsäure, und vor allem von Weinsäure oder Zitronensäure herausgestellt. Sowohl Zitronensäure als auch Weinsäure sind kristallin und nicht toxisch. Beide kommen in der Natur in Früchten vor (Zitronensäure in Zitrusfrüchten wie zum Beispiel Zitronen, Weinsäure in Weintrauben). Die Säure, die als Katalysatorkomponente eingesetzt wird, kann gleichzeitig auch zur Herstellung des sauren Mediums für den Inkubationsschritt eingesetzt werden. Die Konzentration der Säure ist unter anderem abhängig vom pK_s -Wert und beträgt etwa bezogen auf das Volumen 0,1 bis 3 Prozent 0,6 bis 2 Prozent und besonders bevorzugt 0,3 bis 1 Prozent. Eine Vorinkubation des Ausgangsstoffs mit Säure verkürzt die Reaktionszeit. Je länger die Vorinkubation, je stärker die Säure und je höher ihre Konzentration desto kürzer die Reaktionszeit. Der Katalysator oder das Katalysatormischung kann, insbesondere auch zusätzlich, ein oder mehrere Metalle umfassen. Es kommen vorzugsweise Übergangsmetalle wie Eisen, Nickel, Cobalt, Eisen, Kupfer, Chrom, Wolfram, Molybdän oder Titan zum Einsatz, wobei sich Eisen als besonders vorteilhaft herausgestellt hat. Die Zugabe des Katalysators kann vor Einbringung in den Reaktor aber auch zu anderen Zeiten während des Verfahrens erfolgen. Weiter können unterschiedliche Katalysatormischungen beziehungsweise -zusammensetzungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten dem Reaktionsgemisch zugeführt werden.

[0060] Die Biomasse wird gründlich mit dem Katalysator beziehungsweise Katalysatormischung vermischt. Der Katalysator bildet dann mit der Biomasse gemeinsam ein Reaktionsgemisch. Alternativ findet der Vermischungsvorgang innerhalb eines Reaktors statt. Die Verdichtung des Reaktionsgemischs kann in einem oder mehreren Schritten sowohl außerhalb als auch innerhalb eines Reaktors erfolgen. Vorteilhaft ist eine möglichst hohe Verdichtung, die wiederum eine bessere Ausnutzung des Reaktionsraums bedeutet. Das Maß der Verdichtung ist abhängig von der Förderbarkeit in einen Reaktor, vom gewünschten Reaktionsprodukt und von der Prozessführung.

Das Reaktionsgemisch kann nach der Vorbehandlung beispielsweise auch in einen Reaktor eingeführt werden.

[0061] Eine Vorwärmung kann beispielsweise vor der Einführung von Reaktionsbestandteilen in den Druckbehälterraum stattfinden. Es können sämtliche Reaktionspartner vorgewärmt werden. Unter den Ausgangsstoffen können alle aber insbesondere die Biomasse bis zu etwa 60–90 Grad Celsius erwärmt werden. Die Vorwärmung erfolgt zum Beispiel durch Zuführung von Wärmeenergie und insbesondere durch Zugabe von fast siedendem Prozesswasser, vorgewärmter Biomassesuspension oder anderem Wasser bei etwa einem bar Absolutdruck oder durch Zuführung von Wasser- oder Prozessdampf oder anderen Wärmeenergieträgern. Alternativ oder ergänzend kann dazu Wärmeenergie aus Wärmetauscherprozessen eingesetzt werden.

[0062] Die Reaktionszeit liegt je nach gewünschtem Reaktionsprodukt zwischen einer bis 60 Stunden, bevorzugt zwischen drei und 40 Stunden, besonders bevorzugt zwischen fünf und 18 Stunden. Die Reaktionszeit gilt als abgelaufen beziehungsweise die Reaktion als abgeschlossen, wenn keine nennenswerte Enthalpie mehr freigesetzt wird. Eine minimale Vorbehandlung und/oder die Auslassung einzelner Vorbehandlungsschritte kann die Reaktionszeit auf über 60 Stunden erhöhen. Die Reaktionszeit ist insbesondere abhängig von der Zusammensetzung und den Eigenschaften des jeweiligen Ausgangsstoffs. Je größer die Oberfläche, je kleiner die Partikelgröße, je geringer der Lignin- oder Celluloseanteil und je höher der Kohlenhydratanteil, desto schneller wird die Wärmeenergie in der Depolymerisationsphase freigesetzt und desto schneller wird die Stabilisierungsphase erreicht und die Reaktions- beziehungsweise Verweilzeit reduziert sich. Je kürzer die Umsetzungszeit des jeweiligen Ausgangsstoffs ist, desto später kann dieser zum Beispiel in eine bereits angelaufene Reaktion im Reaktor eingebracht werden. Eine kürzere Reaktionszeit wird auch bei relativ hohen Anteilen an Fett und nicht-pflanzlicher, nicht vernetzter zum Beispiel tierischer oder bakterieller Proteine erzielt. Das Auslaufen der Wärmeenergiefreisetzung während des Reaktionsprozesses ist ein Zeichen für den Abschluss des Umsetzungsprozesses.

[0063] Erfindungsgemäß können Temperaturen von bis zu 300 Grad Celsius erzeugt werden. Vorteilhaft sind jedoch Temperaturen zwischen 185 bis 205 Grad Celsius und insbesondere bis 215 Grad Celsius und besonders bevorzugt bis 225 Grad Celsius.

[0064] Erfindungsgemäß wird unter Luftabschluss ein Druck aufgebaut, der beispielsweise zwischen 7 und 90 bar liegt. Vorteilhaft ist ein Druck zwischen 11 und 18 bar, bevorzugt zwischen 19 und 26 bar, besonders bevorzugt zwischen 27 und 34 bar.

[0065] Das erfindungsgemäße Verfahren kann in jedem hierfür geeigneten Behälter bzw. Reaktor durchgeführt werden. In Abhängigkeit von der Prozessphase, der eingesetzten Menge Biomasse, vom Ausgangsstoff vom gewünschten Reaktionsprodukt können unterschiedliche Reaktortypen eingesetzt werden. Zu den klassischen Reaktortypen, die für das erfindungsgemäße Verfahren angewandt werden können, zählt der Rohrreaktor, Kreislaufreaktor, Schlaufenreaktor, Membranreaktor, sowie der Rührkessel beziehungsweise Rührkesselreaktor. Der Reaktor sollte aufgrund des erforderlichen Drucks als Druckbehälter ausgelegt sein. Die Auslegung der Druckbehälterform ist von der Prozessführung und von der angewandten Mischtechnik abhängig.

[0066] Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise in einem Reaktor durchgeführt werden, der vorzugsweise die folgenden Eigenschaften aufweist:

- Der Reaktor besteht aus mindestens einem Druckbehälter und mindestens einer Vorrichtung zur Fest-Flüssig-Trennung und wird daher auch als Membranreaktor bezeichnet.
- Der Reaktor verfügt über mindestens eine Grob- und/oder eine Feinfiltration oder eine Kombination aus beiden Vorrichtungen, die auch in einer Filtrationsvorrichtung kombiniert werden kann.
- Ein solcher Reaktor wird bevorzugt für Fest-Flüssig-Gemische einschließlich Suspensionen, Dispersionen und disperse Systeme angewendet.
- Insbesondere findet der Reaktor Anwendung für solche Fest-Flüssig-Gemische, die während des Reaktionsverlaufs auf physikalischem oder chemischem Wege zur Erhöhung des Gehalts der flüssigen Phase beziehungsweise an Lösungsmittel und/oder zur physikalischen oder chemischen Veränderung des Feststoffs führen, die eine verbesserte Fest-Flüssig-Trennung oder veränderte Verhältnisse mit höheren Feststoffanteilen ermöglichen.
- Mindestens einer der Druckbehälter verfügt über ein Rühr- und/oder Mischsystem, der dadurch als Rührkesselreaktor bezeichnet werden kann.
- Die Summe aller Reaktionsräume der Druckbehälter oder Reaktoren verfügt über ein Volumen von 0,5 bis 10.000 Kubikmeter, bevorzugt 5 bis 2.000 Kubikmeter und besonders bevorzugt von 50 bis 500 Kubikmeter.
- Die Summe aller Behältnisse einer Anlage einschließlich der Reaktionsräume der Druckbehälter oder Reaktoren, Silo und Lagerräume verfügt über ein Volumen von 0,5 bis 1.000.000 Kubikmeter, bevorzugt 10.000 bis 700.000 Kubikmeter und besonders bevorzugt von 50.000 bis 500.000 Kubikmeter.
- Je nach Ausgangsstoff und Biomasse kann der Wasseranteil der Biomasse bis zu 95 Prozent oder mehr des Gesamtgewichts betragen. Aus

diesem Grund kann die Integration eines Entwässerungsprozesses, der der Umsetzungsreaktion vorgeschaltet ist, sinnvoll sein. Aufgrund des hohen Feuchtigkeitsgehalt und des geringen Schüttgewichts vieler Biomassen ist die Förderbarkeit begrenzt, so dass der initiale Feststoffanteil im Reaktionsraum etwa zwischen 5 und 30 Prozent liegt. Daher kann der Ertrag des Reaktionsprodukts im einstelligen Prozentbereich bezogen auf das gesamte Reaktionsraumvolumen liegen. Weiter ist der Einsatz relativ großer Reaktionsraumvolumina erforderlich. Dies kann durch eine Zusammenschaltung mehrerer Druckbehälter erfolgen.

- Durch eine Zusammenschaltung mehrerer Druckbehälter zum Beispiel im Sinne einer Kaskade und/oder die Kombination verschiedener Reaktortypen kann eine günstigere Verweilzeitverteilung und somit höhere Umsätze durch eine verbesserte Steuerung des Prozessablaufs realisiert werden. Gleichzeitig kann den unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen Reaktionsphasen und Teilschritte Rechnung getragen werden. Beispielsweise kann in einem Rohrreaktor ein günstigerer Wärmeaustausch stattfinden, in einem Rührkessel beziehungsweise Rührreaktor eine bessere Durchmischung und Rückvermischung. Durch die Aufteilung des Gesamtvolumens des Reaktors auf mehrere Druckbehälter wird die Transportfähigkeit einzelner Anlagenbestandteile einschließlich des Druckbehälters verbessert.
- Gleichzeitig wird durch die Zusammenschaltung mehrerer Druckbehälter die Realisierung eines kontinuierlichen oder semikontinuierlichen Prozesses erleichtert. Durch die kontinuierliche Abtrennung von Wasser während des Prozessverlaufs kann das Volumen pro Reaktor im Reaktionsverlauf abnehmen oder alternativ schneller umsetzbare Ausgangsstoffe zugeführt werden. Weiter ermöglicht eine Schaltung mehrerer Reaktoren in Serie, die voneinander zum Beispiel durch Ventile getrennt sind, eine gezieltes Befüllen beziehungsweise Nachfüllen einzelner Druckbehälter mit frischen Ausgangsstoffen zwecks Erhöhung der Durchsatzraten. Die Überführung des Reaktionsgemischs von einem in den anderen Druckbehälter findet im Wesentlichen bei Betriebsbedingungen statt.
- Reaktor sowie alle mit den Reaktanden in Berührung stehenden Oberflächen und Bestandteile der Vorrichtung einschließlich der Armaturen und Rohrleitungen bestehen aus hitzebeständigen und korrosionsfesten Materialien und zwar bevorzugt aus Edelmetall vergleichbar mit den Qualität wie sie für die Membranbleche unten beschrieben wurden. Die Wanddicke des Reaktors ist ausgelegt für Drücke zwischen 7 bis 20 bar, bevorzugt für Drücke zwischen 21 bis 30 bar und besonders bevorzugt für Drücke von 30 bis 40 bar sowie für

Temperaturen zwischen 160 und 230 Grad Celsius bevorzugt bis 260 Grad Celsius und besonders bevorzugt bis 300 Grad Celsius.

- Der erfindungsgemäße Reaktor verfügt über einen senkrecht stehenden zylindrischen Grundkörper. Der obere Boden ist bevorzugt als Klöpperboden ausgebildet. Es kann im oberen Teil bevorzugt der oberen Hälfte und besonders bevorzugt in den oberen zwei Dritteln eine leicht kegelförmige Form aufweisen mit leicht wachsendem Durchmesser nach unten hin. Der kegelförmige Boden weist einen Winkel zur Reaktorachse von maximal 45 Grad, bevorzugt kleiner 40 Grad und besonders bevorzugt kleiner 35 Grad auf. Die Übergänge zum Beispiel vom Wand- zum Bodenbereich sind abgerundet, um Störungen des Strömungsflusses zu minimieren.
- Die Platzierung des Stützens für die Zufuhr des Reaktionsgemischs kann variabel sein und befindet sich beispielsweise in der oberen Hälfte, bevorzugt im oberen Drittel des Druckbehälters. Besonders bevorzugt kann die Zufuhr über ein Ventil über gemeinsam über den Auslassstutzen stattfinden, der sich etwa im Zentrum des Bodens beziehungsweise Kegelbodens befindet. Die wesentlichen Bauteile und Stützen des Reaktors werden durch Schweißen miteinander verbunden. Der Deckel wird vorzugsweise angeflanscht.
- Bei einem vorrangigen Einsatz von Flüssigkeitsstrahlmischer und Vollstrahldüsen liegt das Verhältnis von Durchmesser zur Höhe etwa bei eins zu zwei bis eins zu drei, bevorzugt bei eins zu vier bis ein zu fünf und besonders bevorzugt bei eins zu fünf bis eins zu sechs.

[0067] Ein Membranreaktor ist eine Vorrichtung, die die Kombination chemischer Reaktionen mit einem Membranverfahren oder einer Fest-Flüssig-Trennung erlaubt. Dabei sind beide Prozesse integral miteinander gekoppelt, so dass Synergien entstehen können. Gleichzeitig können beide Prozesse in einem einzigen Gehäuse oder einer Anlage untergebracht sein. Durch den Einsatz eines Membranreaktors können Reaktions-, Zwischen-, Neben- und Endprodukten selektiv aus dem Reaktionsgemisch entfernt werden, Edukte kontrolliert zugegeben oder der Kontakt der Edukte intensiviert werden. Reaktions-, Zwischen-, Neben und Endprodukten und insbesondere Wasser wird durch eine Fest-Flüssig-Trennung kontinuierlich oder in Intervallen aus dem Reaktionsgemisch entfernt. Dadurch lässt sich eine deutliche Umsatzerhöhung erzielen. Auch die Entfernung von gasförmigen Stoffen und insbesondere von gelöstem Sauerstoff kann sowohl für den Reaktionsverlauf als auch für die Verminderung von Korrosionen vorteilhaft sein. Durch die chemische Veränderung der Zusammensetzung und Eigenschaften einschließlich der Dichte insbesondere während der Polymerisationsphase wird die Fest-Flüssig-Trennung erleichtert. Dadurch kann eine höhere Feststoffkonzentration im

Reaktionsgemisch erreicht werden. In Abhängigkeit vom Feststoffgehalt und vom Stadium des Umwandlungsprozesses wird das Reaktionsgemisch in einen Schlaufenreaktor überführt. Dabei wird das Reaktionsgemisch durch einen radial innen liegenden Zylinderabschnitt axial in eine erste Richtung und in einem radial außen liegenden Abschnitt axial in eine zweite entgegen gesetzte Richtung strömt. Bei Verwendung eines Schlaufenreaktors kann das innen liegende Rohr zum Beispiel mit Wärmetauscherelementen versehen werden, um den Wärmeaustausch zu beschleunigen und umso größere Reaktordurchmesser zu ermöglichen.

[0068] Es herrschen reduktive Verhältnisse im Reaktionsgemisch. Aufgrund des sauren Milieus, der Gegenwart korrosiver Stoffe wie Chlor, hoher Temperaturen und Drücke sind die Flächen, die zu Betriebsbedingungen mit dem Reaktionsgemisch in Berührung kommen, korrosionsgefährdet. Dadurch können sich insbesondere im langfristigen Betrieb Verschleißerscheinungen insbesondere durch Lochfraßkorrosionen bemerkbar machen. Zur Minimierung von Korrosionen werden in Abhängigkeit vom Durchmesser des Behälters entweder fest installierte Membranbleche oder eine fluiddurchlässige Kartusche eingesetzt.

[0069] Membranbleche bestehen aus durchlöcher-ten Blechen, die den Transport insbesondere von Gasen und Flüssigkeiten durch das Blech ermöglichen. Ebenso besteht die fluid- und gasdurchlässige Kartusche aus durchlöcher-ten zumeist metallischen Bauteilen, durch die aufgereinigtes Lösungsmittel oder Wasser in den Reaktorraum fließen kann. Ob jeweils ein Membranblech oder eine fluiddurchlässige Kartusche eingesetzt wird, hängt primär vom Durchmesser des jeweiligen Reaktionsgefäßes und den Toleranzen bei der Verarbeitung aber auch von der Form und der Korrosionsbelastung ab. Als mögliche Werkstoffe oder Beschichtungsstoffe beziehungsweise Trägermaterialien kommen Kunststoffe, Metalle, insbesondere Hartmetalle, keramische Werkstoffe und Polytetrafluorethylen und bevorzugt Edelmetalle und besonders bevorzugt, die für die Membranbleche genannten Edelmetalle in Frage. Die Beschichtung geht in der Regel über eine herausnehmbare Kartusche aus Polytetrafluorethylen wie sie zum Beispiel bei Autoklaven im Labormaßstab verwendet werden, hinaus. Zum Aufbringen der Beschichtung werden chemische, mechanische, thermische und thermomechanische Verfahren angewandt. Dabei liegen das aufzubringende Material, das Trägermaterial und/oder der Haftvermittler in gasförmiger, flüssiger, gelöster oder fester Form vor. Bevorzugt kommen galvanische oder Flamm-spritzverfahren zum Einsatz. Eine Technik zur Aufbringung der Beschichtung ist die Plattierung.

[0070] Alternativ oder zusätzlich zur Plattierung

kann der Innenraum eines oder mehrerer Behälter der Anlage mit einer Kartusche ausgestattet sein. Insbesondere kann die Innenwand des Reaktors mit Membranblechen ausgekleidet werden. Die Kartusche hat zumeist eine zylindrische Form und kann einem Grid, das heißt einer netzähnlichen Struktur, oder Metallstegen aufliegen.

[0071] Alternativ wird entweder auf die äußeren oder inneren Edelstahlschichten des Reaktors oder der Kartusche ein Edelmantel, vergleichbar einem Wärmeaustauschplatten-System, mittels Laserschweißung aufgebracht. Der Edelmantel wird durch Innendruck aufgeweitet, wodurch gleichmäßige Hohlräume entstehen. Durch diese Hohlräume wird können dann verschiedene Medien geleitet werden. Diese Medien können auch als Wärmeträger dienen, zu denen hinreichend aufbereitetes Prozesswasser, Frischwasser oder Wasserdampf oder Thermostöl zählen kann.

[0072] Um die Druckbelastung des Edelmantels, der dem Reaktorraum zugewandt ist, zu minimieren, werden Vorrichtungen eingesetzt, durch die eine möglichst geringe Druckdifferenz zwischen dem Hohlraum und dem Reaktorraum zustande kommt. Mögliche Druckdifferenzen im Hohlraum können durch Löcher, die mittels Laser in den Edelmantel gebohrt werden verhindert oder minimiert werden. Der Durchmesser und die Form der Löcher entsprechen denen in den Membranblechen oder in der Kartusche. Die Abstände der Löcher sollen so weit wie möglich auseinander liegen, damit möglichst wenig Medium in den Reaktionsraum gelangt.

[0073] Die Bohrungen sowohl im Mantel als auch in der Kartusche befinden sich im Abstand von mindestens 10 bis 20 cm, bevorzugt mindestens 60 cm und besonders bevorzugt mindestens 150 cm. Durch den anliegenden Überdruck, der auf dem Mantelkreislauf anliegt, gelangt das Medium durch die Bohrungen in den Reaktorinnenraum oder in den Hohlraum zwischen der Reaktorwand und der Kartusche. Es kann eine Zwangsführung durch die Verbindung einzelner Schweißkreise durch eine Lasernaht erzeugt werden, so dass eine gleichmäßige Verteilung des Temperaturmediums im Mantel gewährleistet wird. Der Druck, der diesem Temperaturmedium anliegt übersteigt den des Reaktorinnendrucks um bis zu 6 bar. Der Außenmantel der Kartusche liegt direkt der Innenseite des Druckbehälters auf. Alternativ kann sie einem durchlöcherten Grid oder Stegen aufliegen. Die Kartusche weist regelmäßige Bohrungen mit einem Durchmesser von etwa 20 bis 70 Mikrometer auf.

[0074] Bei Verwendung von plattierten Blechen kann zusätzlich zur ein- und/oder beidseitigen Plattierung und/oder nach Auftreten von Verschleißerscheinungen ein Innenmantel aufgebracht werden,

der mittels eines Schweißverfahrens und bevorzugt mittels Laserschweißung verbunden wird. Zur gleichzeitigen Verwendung des Innenmantels als Temperierungssystem werden Hohlräume wie oben beim Außenmantel der Kartusche erzeugt. Der Innenmantel hat eine Dicke von 1 bis 1,5 mm bevorzugt 1,5 bis 2 mm und besonders bevorzugt von 2 bis 2,5 mm. Druckverluste sind minimal und werden über Anzahl und Größe der Ein- und Austrittsstutzen zusätzlich minimiert.

[0075] Die Kartusche oder die Membranbleche aus Stahl und vor allem Edelstahl und besonders austenitischen Stählen und besonders bevorzugt aus Stählen zunehmender Chrom- und Molybdängehalte der Gruppen 6, 7 und 8 oder auch Duplexstählen (DIN-Bezeichnungen u. a. 1.4571 (1.4404), 1.4435, 1.4539, 1.4439, 1.4462, 1.4529, 1.4501). Werden beanspruchendere Reaktionsbedingungen gewählt, sind zum Beispiel Kupfer-Nickellegierungen, hoch-molybdänhaltige Nickellegierungen, wie z. B. 2.4610, sowie Titan einzusetzen. Die Wanddicke der Kartusche ist so ausgelegt, dass die Kartusche einem Differenzdruck von 2, bevorzugt 4 und besonders bevorzugt von 6 bar ausgesetzt werden kann.

[0076] Besonders im Boden- beziehungsweise Wandbereich kommt es durch Sedimentation und die Wirkung der Schwerkraft zur Ansammlung fester Bestandteile mit der Gefahr von Anbackungen und Verstopfungen. Diese verhindern einen reibungslosen Wärmeaustausch und erschweren den Kontakt der Edukte innerhalb des Reaktionsgemischs, was die Steuerung der Reaktion erschwert. Daher wurden die an diesen Stellen eingesetzten Membranbleche speziell bearbeitet, insbesondere im Boden- beziehungsweise Wandbereich mindestens aber im Konusbereich und bevorzugt im unteren Drittel besonders in den Bereichen, in denen es zu Ablagerungen oder Anbackungen kommen kann. Die Bearbeitung dieser Bleche erfolgt beispielsweise durch das Bohren von Löchern in regelmäßigen Abständen, bevorzugt in Abständen von unter 10 mm, bevorzugt von unter 6 mm und besonders bevorzugt unter 4 mm.

[0077] Die Löcher in den Membranblechen oder in der Kartusche werden mittels Laser in das Blech gebohrt und besitzen Durchmesser zwischen 200 bis 10 Mikrometer, bevorzugt zwischen 100 und 20 Mikrometer und besonders bevorzugt zwischen 50 und 25 Mikrometer. Die Löcher sind vorzugsweise trichterförmig ausgebildet, so dass der Durchmesser der Löcher am Austritt mindestens doppelt so groß ist wie am Eintritt. Dadurch wird eine gefächerte Strömung erzielt, die einen optimierten Wärmeübergang ermöglicht. Die Achse der Löcher verläuft fast parallel zur Reaktorachse und/oder senkrecht zur Oberfläche zu den durchlöcherten Boden- beziehungsweise Wandteilen. Durch die Löcher wird erhitztes oder gekühltes und hinreichend aufbereitetes Prozesswas-

ser, Frischwasser oder Wasserdampf durch einen Überdruck vom Hohlraum in den Druckbehälterinnenraum geleitet. Die Löcher können dabei als Düsen fungieren. Die vorgenannten Flüssigkeiten dienen gleichzeitig als Temperierungs- und Treibmedium. Prozesswasser oder Frischwasser muss zur Durchleitung durch die Löcher beziehungsweise das Wärmeaustauschsystem hinreichend aufbereitet sein. Es werden die Standards bei der Konditionierung angestrebt, die auch für Speisewasser und/oder Kesselwasser gelten.

[0078] Zwischen der Reaktorwand und den Membranblechen wird ein zum Reaktorinnenraum abgedichteter Hohlraum belassen, der zur Durchleitung von Lösungsmittel, Wasser oder Wasserdampf dient. Der Überdruck des aus den Bohrungen austretenden Prozesswassers ist stets so hoch, dass ein Eindringen von Reaktionsgemisch verhindert wird. Die Stärke der Membranbleche oder Kartuschenwand ist so ausgelegt, dass die Wandstärke den Anforderungen der Druckdifferenzen zwischen der Innen- und Außenseite gerecht wird. Die Membranbleche beziehungsweise die Hohlräume, die sie mit der Druckbehälterwand bilden, können in Zonen, die beispielsweise im Konus- oder Bodenbereich eine konzentrische Fläche aufweisen, eingeteilt werden. Diese sind durch unterschiedliche Druckstufen gekennzeichnet. Die unterschiedlichen Druckstufen kommen zum Beispiel durch Ventile oder getrennte Pumpsysteme zustande. Dadurch kann Ablagerungen und Anbackungen durch schwerkraftbedingten Sedimentationen entgegengewirkt werden. Vergleichbare Effekte können bei einheitlichem Druck werden durch angepasste Durchmesser der Löcher erzielt. Beispielsweise können die Durchmesser in den Bereichen mit schweren Sedimentationen größer sein.

[0079] Alternativ zur Beschichtung oder Verwendung zusätzlicher Stoffe zur Vorbeugung von Korrosionen kann der Innenraum, insbesondere der Boden beziehungsweise der Konus des Druckbehälters sowie Armaturen und andere mit dem Reaktionsgemisch in Berührung kommende Teile oberflächenbehandelt sein. Insbesondere wird dies durch eine Verringerung der Oberflächenrauheit erreicht. Alternativ oder zusätzlich werden zur Oberflächenbehandlung nach üblicher Vorbehandlung abtragende Fertigungsverfahren angewandt, bevorzugt elektrochemische Abtragverfahren und besonders bevorzugt wird in einem speziell auf das Material abgestimmten Elektrolyten Metall anodisch abgetragen.

[0080] Während der chemischen Umwandlungsreaktion werden etwa 5 bis 34 Prozent der Energie, die im Ausgangsstoff enthalten ist, als Wärme freigesetzt. Diese Energie wird durch Vorrichtungen zum Wärmetausch für andere Prozesse mit Wärmebedarf innerhalb oder außerhalb des Prozesses oder Anlage genutzt. Innerhalb des Prozesses oder Anlage

kann die Wärme beispielsweise zur Vorwärmung der Biomasse oder von Reaktionsräumen genutzt werden. Außerhalb des Prozesses oder Anlage kann die Energie zur Beheizung von Räumen, Maschinen oder als Prozesswärme für andere Prozesse eingesetzt werden. Mit Hilfe des Temperierungssystems soll nicht nur die erforderliche Wärmeenergie zur Initiierung des chemischen Umwandlungsprozesses zugeführt werden können, sondern auch die bei der exothermen Reaktion freiwerdende Wärmeenergie abgeführt werden. Dadurch soll der Entwicklung unkontrollierter Hot-Spots und damit auch einem Durchgehen des Reaktors entgegengewirkt werden. Es wird mindestens ein und bevorzugt mehrere oder eine Kombination verschiedener Temperierungssysteme eingesetzt, die mechanisch, elektrisch oder chemisch betrieben werden. Zusätzlich oder alternativ zu den unten genannten Prozesswassersystemen besteht das Temperierungssystem des Reaktors beispielsweise aus einer Doppelwandkonstruktion, einem Einschraubheizkörper, in den Reaktor eingebrachte Heiz- und Kühlschlangen beziehungsweise -rippen oder an der Außenwand aufgeschweißten Halbrohrschlangen. Alternativ oder ergänzend kommt je nach Konstruktionsweise und gewähltem Material zum Beispiel ein Wärmeaustauschplatten-System in Frage. Als Wärmeenergieträger beziehungsweise Temperierungsmedium für durchflossene und zum Reaktorinnenraum geschlossene Temperierungssysteme werden vorzugsweise Prozesswasser und/oder ein Thermoöl verwendet.

[0081] Die Kombination, Positionierung, Auslegung und Steuerung des jeweiligen Temperierungssystems ergibt sich aus der Prozessführung und sind insbesondere von der Zusammensetzung der Ausgangsstoffe abhängig. Sämtliche Prozesswassersysteme außerhalb und innerhalb des Reaktors können für den Temperierungsprozess eingesetzt werden.

[0082] Dies kann zum einen durch externe, das heißt außerhalb des Reaktors gelegene Wärmetauschprozesse und zum anderen durch die Einbringung von temperiertem Prozesswasser als Verdünnungs-, Temperierungs-, Ansaugmedium oder Treibmittel für Mischer, Pumpen und/oder Düsen und/oder als angesaugtes Medium für die Flüssigkeitsstrahlpumpen geschehen. Eine Vermischung von Prozess- und Frischwasser kann ebenfalls einer optimierten Reaktortemperatur dienen. Zusätzlich kann dadurch auch die Prozessführung optimiert werden, indem zum Beispiel die Konzentrationen bestimmter anorganischer Stoffe und Störstoffe gesenkt wird. Vorteilhaft ist die Zuführung eines Temperierungsmediums, insbesondere durch Eindüsen von temperiertem Wasser oder recyceltem Prozesswasser an temperaturkritischen Punkten. Ergänzend wird die Temperierung über die Prozessführung gesteuert. Neben der Kombination von Ausgangsstoffen, pH-Wert, Probenvorbereiten und Katalysatoren ist die zeitversetz-

te Einbringung von Ausgangsstoffen in Abhängigkeit von ihren Umsetzungseigenschaften ein wesentliches Element der Temperatursteuerung.

[0083] Während des Verfahrensverlaufs ändern sich die Viskosität, Dichte und Größe und andere Eigenschaften der Ausgangsstoffe beziehungsweise, des Reaktionsgemischs. Diese Veränderungen sind auf chemische Reaktionen und Strukturveränderungen der kohlenstoffhaltigen Ausgangsstoffe, die auch auf die Depolymerisation und später auf die Polymerisation der Ausgangsstoffe zurückzuführen sind. Daraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an den Mischvorgang in Abhängigkeit vom Prozessverlauf. Eine möglichst gleichmäßige und homogene Vermischung und/oder Strömungsverteilung ist vom Stadium des Prozesses, von den Ausgangsstoffen, Feststoffkonzentrationen und Anforderungen, die an das Reaktionsprodukt gestellt werden, abhängig. Ein Aufwirbeln beziehungsweise Suspendieren erfolgt kontinuierlich oder intermittierend zwecks Wärmeaustauschs, Intensivierung des Eduktkontakts und zwecks besseren Aufschlusses noch vernetzter zum Beispiel lignocellulosehaltiger Schichten, gleichmäßiger Verteilung der Reaktanden und vor allem des Katalysatormischs und Entlüftung des Reaktionsgemischs. Gleichzeitig werden Sedimentationen gelöst, aufgelockert und einer Tromben- sowie Agglomeratbildung wird entgegengewirkt. Insgesamt wird dadurch der Reaktionsverlauf positiv beeinflusst. Das heißt je gründlicher und gleichmäßiger der Mischvorgang, desto schneller der Reaktionsverlauf und desto homogener das Reaktionsprodukt. Es kann beziehungsweise können mindestens ein oder mehrere und insbesondere eine Kombination verschiedener Mischsysteme mit und/ohne bewegliche Teile im Reaktionsraum eingesetzt werden. Als Mischer mit bewegten Teilen im Reaktionsraum können ein oder mehrere oder eine Kombination verschiedener Rührer eingesetzt werden. Der Rührer ist mit mindesten einer und vorzugsweise mit zwei oder mehr Wellen ausgestattet, so dass weitere Rührer über den gleichen Motor und Reaktorzugang angetrieben werden. Ein Vorteil solcher Rührsysteme ist der relativ geringe Energiebedarf im Verhältnis zum Energieeintrag beziehungsweise zur Mischzeit. Der entscheidende Nachteil neben den hohen Kosten liegt in der Störanfälligkeit und dem höheren Wartungsbedarf gegenüber Mischsystemen ohne bewegte Teile im Reaktionsraum.

[0084] Unter Flüssigkeitsstrahlssystemen werden Flüssigkeitsstrahlmischer, -pumpen und Düsen verstanden. Sie besitzen in der Regel keine bewegten Teile und sind daher wartungsärmer. Flüssigkeitsstrahlssysteme können als Mischsysteme dienen, denn sie sind dazu geeignet, kinetische Energie über ein Treibmittel, das auch als Wärme- beziehungsweise Kühlmittel dienen kann, in den Reaktor einzubringen, um den Reaktorinhalt zu suspendieren und zu

homogenisieren. Weitere Vorteile von Flüssigkeitsstrahlssystemen zählen sind ihre geringe Baugröße, minimale Störung der Strömungs- und Flußverhältnisse und Vermeidung von Dichtungssystemen. Strombrecher, wie sie für herkömmliche Rührsysteme nicht selten eingesetzt werden müssen, sind überflüssig, Daher gibt es bei der Verwendung solcher Systeme auch keine strombrecherbedingten Strömungstotzonen. Gleichzeitig wird ein Floating (Aufschwimmen von Feststoffen) vermindert, wodurch sich die Gefahr des Luft einsogs minimiert. Die Flüssigkeitsstrahlssysteme können von einem gemeinsamen oder mehreren Prozesswasserreservoirs gespeist werden. Sie können unabhängig voneinander angesteuert werden und von unterschiedlichen Mengen Treib- und/oder Temperierungsmittel durchflossen werden. Treib- und/oder Temperierungsmittel wird bevorzugt fast kontinuierlich und/oder in Intervallen zum Suspendieren und Homogenisieren zugeführt. Die Positionierung der Flüssigkeitsstrahlssysteme und insbesondere von Flüssigkeitsstrahlmischern wird so gewählt, dass es zur Ausbildung eines Flüssigkeitsstroms zum Beispiel in Form einer vertikalen Schlaufenströmung kommt. Bei Reaktoren ab einem Durchmesser-Höhen-Verhältnis von 1:2 kann auch eine Schlaufenströmung zum Beispiel in Form einer Acht ausgebildet werden oder bei entsprechenden Höhen weiterer Schlaufen, die quer zur Senkrechte verlaufen. Flüssigkeitsstrahlmischer werden insbesondere in der oberen Hälfte positioniert, insbesondere im oberen Drittel, wobei der Treibstrahl nach unten fast parallel zur Reaktorachse gerichtet ist. Bei größeren beziehungsweise höheren Reaktoren insbesondere ab einem Durchmesser-Höhen-Verhältnis von 1:3 werden mehrere Flüssigkeitsstrahlmischer in Reihe geschaltet, das heißt auf verschiedenen Höhen hintereinander geschaltet, so dass ein jeweils nachgeschalteter Mischer den Treibstrom beschleunigt. Bei größeren Durchmessern, insbesondere über einem Meter werden mehrere Flüssigkeitsstrahlmischer auf einer Längsachse so positioniert, dass der Treibstrahl wirksam in eine Richtung verstärkt wird. Werden mehr als zwei Flüssigkeitsstrahlmischer beziehungsweise -pumpen auf einer Höhe eingesetzt, ist die Zahl der Flüssigkeitsstrahlmischer, deren Treibstrahl nach unten zur Reaktorboden gerichtet ist, jeweils gleich. Ein oder mehrere Flüssigkeitsstrahlmischer werden knapp oberhalb des Bodenbereichs beziehungsweise Konus positioniert, so dass die Strömung tangential über die Wand des Bodens beziehungsweise des Konus gelenkt wird. Ein oder mehrere Flüssigkeitsstrahlmischer werden unmittelbar neben dem Ausflusstutzen im Zentrum des Bodenbereichs beziehungsweise Konus positioniert, so dass die Strömung tangential über die Wand des Bodens beziehungsweise Konus nach oben gelenkt wird.

[0085] Durch die Turbulenzwirbel und Scherbelastung der Flüssigkeitsstrahlssysteme desagglomerie-

ren die Feststoffe. Durch den zusätzlichen Einsatz von Zerkleinerungsvorrichtungen in Bereichen maximaler Turbulenz und Scherbelastung, insbesondere der Saugschlitz beziehungsweise Ansaug- und Austrittsöffnungen, wird der Bildung von Klumpen und Agglomeraten gezielt entgegengewirkt. An Positionen, an denen die Saugschlitz beziehungsweise Ansaugöffnungen zu Verstopfungen neigen, können diese mit einer eigenen Prozesswasserzufuhr versorgt werden, wobei das Prozesswasser zu diesem Zweck nur grob gereinigt wird. Zur Grobreinigung werden zum Beispiel Siebe, Filter und Membrane eingesetzt. Die Grobreinigung verläuft schneller und praktisch unmittelbar ohne beziehungsweise mit wesentlich geringeren Reservevolumina im Gegensatz zur Prozesswasserreinigung zwecks Aufbereitung von Treib- und Temperierungsmittel. Alternativ werden verstopfungs- und ablagerungsgefährdete Saugschlitz beziehungsweise Ansaugöffnungen der Mischer mit Vollstrahldüsen mit eigenem Treibstromkreislauf freigehalten und/oder mit einem Mechanismus zur kurzzeitigen Flußumkehr ausgestattet. Zur Steuerung dieser Düsen dienen Durchflußmesser, Manometer und Ventile, die auf Verstopfungen zum Beispiel durch Druckveränderungen im Ansaugbereich reagieren. Auch eine gemischte Reaktionsgemischzufuhr für die verstopfungs- und ablagerungsgefährdete Saugschlitz beziehungsweise Ansaugöffnungen der Mischer kann realisiert werden durch eine geteilte Treibstromzufuhr: ein Anteil wird direkt aus dem Reaktor angesaugt, ein anderer Anteil wird grob gefiltert aus dem oberen Reaktorteil angesaugt. Die Treibstromzufuhr wird über Ventile geregelt und geschaltet, so dass zum Beispiel bei Betriebsproblemen oder bei zu geringem Flüssigkeitsstand, Treibmittel eingespart wird.

[0086] Düsen können an gezielten Stellen im Behälterinnenraum eingesetzt werden. Dazu zählen insbesondere Totraumbereiche oder Zonen, in denen Ablagerungen und Anbackungen unterbunden werden sollen. In sämtlichen Flüssigkeitsstrahlsystemen herrscht ein kontinuierlicher Differenzdruck gegenüber dem Reaktorinnendruck, um einen Rückfluss des Reaktionsgemischs in die Mischer, Pumpen und Düsen zu verhindern. Eine Verlangsamung oder ein Stillstand der Strömung beschleunigt den Absetzungs- und Sedimentationsprozess der festen Reaktionsprodukte, die sich dadurch zunehmend im unteren Reaktorteil ansammeln.

[0087] Während der chemischen Umwandlungsprozesse kann es zu Ablagerungen und Anbackungen an den Wänden des Reaktors sowie den Armaturen und Teilen, die mit dem Reaktionsgemisch in Berührung kommen. Ohne die Betriebstemperatur wesentlich zu senken, kann nach dem Überführen des Reaktorinhalts in einen anderen Druckbehälter oder Reaktor ein Reinigungsvorgang durchgeführt werden. Als Reinigungsvorrichtung kann beispielsweise eine

bewegliche und steuerbare Hochdruckdüse eingesetzt werden. Durch eine kompakte Bauweise kann die Vorrichtung durch ein Handloch, eine Schleuse oder ein Ventil in den Innenraum eingebracht werden. Der Reinigungsvorgang wird unter direkter Sichtkontrolle oder mittels einer oder mehrerer Kameras durchgeführt. Die Reinigungsvorrichtung lässt sich von außen fernsteuern. Druck und Temperatur des Treibmediums werden so eingestellt, dass das bestmögliche Reinigungsergebnis erzielt wird, ohne die auskleidenden Materialien oder Beschichtungen zu beschädigen. Insbesondere sind Trockeneis-Strahler zur Oberflächenreinigung der Strahlmedien geeignet: Trockeneispellets als Strahlmittel werden mit Druckluft auf 300 m/s beschleunigt und treffen mit hoher kinetischer Energie auf die Schmutzschicht auf. Dabei kühlen sie diese auf minus 80°C ab; die Schmutzschicht schrumpft und wird spröde. Gleichzeitig verdampfen die Trockeneispellets und dehnen sich schlagartig auf das bis zu 700-fache aus, was die die Schmutzschicht von der Oberfläche absprengt. Durch den Einsatz eines Trockeneis-Strahlers zur Reinigung entfällt die aufwendige Aufarbeitung oder Entsorgung eines Reinigungsmediums. Umweltbelastende organische Lösungsmittel und halogenierte Kohlenwasserstoffe werden überflüssig. Dadurch, dass sich die Trockeneispellets förmlich in Luft auflösen, entsteht noch ein weiterer entscheidender Vorteil: Eine Zerlegung und externe Reinigung von Anlagekomponenten wird sehr häufig überflüssig. Ein Trockeneis-Strahler wird bevorzugt als Tauchschnorchelsystem eingesetzt. Es wird durch ein Handloch an zentraler Position in den Reaktor eingeführt und an Haltesystem, das vorher positioniert wurde, ange dockt. Mit Hilfe einer rotierenden Sprüheinrichtung werden die Trockeneispellets auf die zu reinigenden Stellen gerichtet.

[0088] Als Treibmittel für die Flüssigkeitsstrahlmischer, -pumpen und Düsen kann ein flüssiges oder gasförmiges Medium wie zum Beispiel Wasser, aufbereitetes Prozesswasser oder ein Gas wie zum Beispiel Wasserdampf dienen. Das Prozesswasser wird beim beziehungsweise unmittelbar nach dem Austritt aus dem Reaktor gesiebt, gefiltert und von Störstoffen befreit, so dass die Mischer, Pumpen und Düsen nicht verstopfen und der Verschleiß an Reaktor-, Rohr-, Pumpenbestandteilen und anderen Armaturen minimiert wird. Mit Hilfe eines Wärmetauschers wird die Temperatur des Treibmittels so eingestellt, dass dessen Einbringung zur Steuerung der Prozesstemperatur dient. Das Treib-/Temperierungsmittel wird außerhalb des beziehungsweise der Reaktoren bei ähnlichen Drücken geführt wie innerhalb des beziehungsweise der Reaktoren. Wird auf die Temperierungsfunktion des Prozesswassers verzichtet, wird es außerhalb der Reaktionsräume bei ähnlichen Temperaturen geführt wie innerhalb derselben. Alternativ zu Prozesswasser kann Frischwasser, Wasserdampf oder Wasser aus anderen Prozessen als

Treib-, Wärme- beziehungsweise Kühlmittel eingesetzt werden.

[0089] Die im Prozesswasser enthaltenen Stoffe sind abhängig von der Mischung der Ausgangsstoffe und der Prozessführung einschließlich der Katalysatoren. Durch die verfahrensbedingte Desintegration gehen vorher in der Biomasse gebundene Stoffe in Lösung. Zahlreiche Elemente einschließlich Chlor, Schwefel, Nitrat und Ihre Salze sowie Metalle insbesondere Schwermetalle und Mineralien sowie Alkalien wie zum Beispiel Kalium oder Natrium und ihre Salze gehen zu einem bestimmten Anteil während des chemischen Umsetzungsprozesses in die wässrige Phase über. Ein Anteil wird wieder in der Festphase gebunden. Der restliche Anteil verbleibt in der flüssigen Phase. Die Anteile der Stoffe, die in der flüssigen Phase übergehen, sind auch abhängig vom Konzentrationsgefälle, das heißt der bereits in der flüssigen Phase vorhandenen Konzentration. Bei steigenden Konzentrationen tritt eine Sättigung bis hin zum Ausfallen bestimmter Stoffe ein. So können anorganische Stoffe und Verbindungen zum Beispiel Sulfate und Chloride als Salze ausfallen und dadurch die Prozessführung und Reaktorbestandteile nachteilig beeinflussen. Der Anteil organischer Kohlenstoffverbindungen in der flüssigen Phase kann über 50 g pro Liter liegen. Der CSB-Wert des Prozesswassers liegt bereits ohne Wiederverwertung im höheren fünfstelligen Bereich ($\text{mg O}_2/\text{l}$) und überschreitet damit die gesetzlichen Einleitungsgrenzwerte deutlich. Unter dem chemischen Sauerstoffbedarf CSB versteht man im umfassenden Sinne die Menge an Sauerstoff, die erforderlich ist, alle organischen Inhaltsstoffe einer definierten Stoffmenge chemisch zu oxidieren.

[0090] In Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt der Ausgangsstoffe und der Prozessführung einschließlich der Fest-Flüssig-Verhältnisse wird ein Prozesswasseranteil von 10 bis 35 Prozent, bevorzugt von 35 bis 60 Prozent und besonders bevorzugt von 60 bis 85 Prozent wiederverwertet. Eine nahezu vollständige Rückführung des Prozesswassers, das heißt eine Kreislaufschließung oder -einengung des Prozesswasserkreislaufs, mit dem Ziel, Frischwasser einzusparen und das Abwasservolumen zu senken, ist nur begrenzt möglich. Denn es kommt neben einer Akkumulation organischer Kohlenstoffverbindungen zu einer Anreicherung anorganischer Stoffe wie Sulfat, Nitrat, Calcium Chlor, Phosphor oder ihrer Verbindungen. Anorganische Störstoffkonzentrationen beschleunigen die Korrosion. Kalkablagerungen stören den Strömungsfluss im Reaktor und schädigen ebenfalls Armaturen wie Pumpen, Ventile und Düsen. Damit steigen die Anforderungen an die Auslegung des Reaktors. Sulfate können ausfallen. Die Geschwindigkeit der Akkumulation beziehungsweise Aufsättigung ist abhängig von der stofflichen Zusammensetzung der Ausgangsstoffe und der Prozessführung.

[0091] Der chemische Umwandlungsprozess dauert in der Regel mehrere Stunden. In dieser Zeit gehen komplexe chemische Vorgänge verbunden mit stofflichen Veränderungen einher, die zur Optimierung der Prozessführung zu berücksichtigen sind. Unterschiedliche Arten von Biomasse werden in den ersten zwei bis drei Prozessphasen in Intervallen zugeführt. Je nach gewünschtem Reaktionsprodukt werden zum Beispiel gegen Ende der letzten beiden Prozessphasen Reaktionsprodukte abgezogen. Treib- oder Temperierungsmittel wie zum Beispiel ein Gas, Wasser, insbesondere Prozesswasser und/oder Prozess-/Synthesegas sowie Katalysatoren werden während des laufenden Prozesses abgezogen oder zugeführt. Reaktanden und insbesondere Nebenprodukte werden entfernt, die sowohl den Ablauf der chemischen Reaktion, die Durchmischung als auch die Strömung stören.

[0092] Zur Abscheidung der festen Stoffe und insbesondere der Reaktionsprodukte im Reaktionsgemisch können verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen. Die Fest-Flüssig-Trennung dient zur Abtrennung der flüssigen Phase, wodurch eine Aufkonzentration der Feststoffanteile erreicht wird. Zur Abtrennung der Feststoffe können verschiedene Siebungsvorgänge (Grobsiebung, Feinsiebung), Filtrationsprozesse und/oder die Fliehkraftabscheidung mittels Zyklon miteinander verknüpft werden. Um den Aufwand einer Filtration oder Siebung während des Prozesses zu verringern, werden im Rahmen der Vorbehandlung bereits eine oder mehrere Filtrations- oder Siebungsvorgänge durchgeführt. Es kann mindestens eine Grob- oder eine Feinfiltration oder eine Kombination aus diesen beiden Verfahren erfolgen. Durch Filtrationsverfahren, insbesondere Mikro- und/oder Ultrafiltrationsverfahren oder eine Kombination der beiden, kann ein Drittel bis zwei Drittel der gesamten organischen Kohlenstoffverbindungen aus dem Prozesswasser entfernt werden. Die Fest-Flüssig-Trennung wird vorzugsweise bei Betriebsbedingungen betrieben und geht in der Regel über die Nutzung einfacher Papierfilter wie sie beispielsweise im Labormaßstab verwendet werden hinaus. Die Auswahl der verwendeten Methoden ist unter anderem abhängig von der chemischen Zusammensetzung, Partikelgrößenverteilung, Dichte, Partikelform, Festigkeit sowie Löslichkeit und schließt die Ausnutzung elektrischer Ströme und Ladungen, unterschiedliche Dichten und Fliehkkräfte sowie verschiedene Partikelgrößen ein.

[0093] Zu den eingesetzten Vorrichtungen zur Fest-Flüssig-Trennung zählen die dynamische, statische, Vakuum-, Druck und Sterilfiltration, darunter insbesondere die Cross-Flow-Filtration einschließlich verfügbarer Mikro-, Ultra-, Nanofiltration- und Umkehrosomoseverfahren. Es werden bevorzugt Vorrichtungen verwendet, bei denen das zugrunde liegende Verfahrens- oder Funktionsprinzip von Hydrozyklo-

nen, Zentrifugen, kraftfeldunterstützten Trenngeräten und/oder Filtrationsverfahren angewandt wird. Zu den bevorzugten Filtrationsverfahren zählen insbesondere diejenigen, die sich auch bei den Reaktionsbedingungen der hydrothermalen Karbonisierung einsetzen lassen. Bevorzugt werden für die Fest-Flüssig-Trennungen insbesondere bei Betriebsbedingungen Rotationsscheibenfilter oder Zentrifugalmembranfilter eingesetzt. Das bevorzugte Material, das für die Ausbildung der Poren verantwortlich ist, besteht aus Metall und besonders aus Keramik. Die Form des porenbildenden Materials ist bevorzugt scheibenförmig. Je nach angewendetem Filtrationsverfahren und dabei eingesetzten Materialien liegt nicht immer ein proportionales Verhältnis von Porengröße des Filters und der Feststoffmenge im Filtrat vor. Dies trifft insbesondere auf den Einsatz keramischer Werkstoffe für die Filterelemente zu. Die wässrige Phase wird einem Prozesswasserreservoir oder gefiltert oder ungefiltert der Prozesswasseraufbereitung zugeführt. Die Eigenschaften der abzutrennenden Feststoffe und damit die Wahl der zur Abtrennung gewählten Verfahren hängen von der Prozessführung und von den Eigenschaften des gewünschten Reaktionsprodukts ab. Je weiter fortgeschritten der Prozess und je höher die Dichte des Reaktionsprodukts ist, desto einfacher lässt es sich abtrennen. Bevorzugt erfolgt die Abtrennung nah an den Betriebsbedingungen. Die Feststoffmenge im Filtrat sinkt in der Regel proportional zur Porengröße und kann durch den Einsatz eines Ultrafiltrationsverfahrens deutlich ansteigen und über zwei Drittel bis vier Fünftel betragen. In den Prozess sind ein oder mehrere Vorrichtungen zur Fest-Flüssig-Trennung integriert zur Elimination von Sand und anderen Störstoffen mit hoher Dichte oder hohem Gewicht, die im Laufe der Behandlung der Biomasse abtrennbar werden. Insbesondere zur Aufreinigung des Prozesswassers, das als Treibstrahlmittel verwendet wird, ist die Anwendung des Prinzips der Fliehkraftabscheidung von Feststoffen vorteilhaft, um Pumpen, Mischer und Düsen zu schonen.

[0094] Während des Prozesses wird an ein oder mehreren Stellen aus der oberen Hälfte, bevorzugt aus dem oberen Drittel, besonders bevorzugt aus dem oberen Viertel, des Reaktors Prozesswasser zur Aufbereitung abgezogen. Aufbereitetes Prozesswasser wird in den Wasserkreislauf der Anlage zur Wiederverwertung zurückgeführt. Mindestens ein und bevorzugt mehrere Prozesswasserreservoirs können für jeden einzelnen Reaktor oder für mehrere zusammengeschaltete Reaktoren und für andere Vorrichtungen der Anlage genutzt werden. Den einzelnen Prozesswasserreservoirs sind verschiedene Reinigungsschritte vorgeschaltet. Das Volumen einzelner oder eines gemeinsamen Prozesswasserreservoirs beträgt in ihrer Summe etwa 35 bis 85 Prozent des Gesamtvolumens aller Reaktoren. Das Prozesswasserreservoir ist für die Temperatur- und Druckbelas-

tung der Reaktoren ausgelegt, so dass Druckminderungs- und Wärmeaustauschvorrichtungen nicht zwingend erforderlich sind. Eine Prozesswasserreinigung ist in den Wasserkreislauf der beschriebenen Anlage integriert. In Abhängigkeit von der Verwendung des aufbereiteten Prozesswassers sind unterschiedliche Reinigungs- beziehungsweise Aufbereitungsverfahren notwendig. Dazu kommen verschiedene mechanische, chemische und biologische Verfahren und Vorrichtungen einzeln oder in Kombination zum Einsatz: Aerobe und anaerobe Hochleistungsbioreaktoren, Biomembranreaktoren, Anaerob- und Belebtschlammverfahren. In den Prozesswasserkreislauf integrierte oder angeschlossene oben genannte Verfahren und Vorrichtungen sollen den Gehalt an organischen Verbindungen im Kreislaufwasser zwar erheblich senken; das Maß der Rückführung des Prozesswassers muss jedoch von den Konzentrationen von nicht ausreichend abgebaute organische Substanzen und hohen Alkalimetall- beziehungsweise Mineralstoffkonzentrationen wie zum Beispiel Calcium abhängig gemacht werden. Um einen möglichst hohen Anteil des Prozesswassers zurückführen zu können, soll eine besonders leistungsfähige Kombination unterschiedlicher Verfahren und Vorrichtungen zum Einsatz kommen.

[0095] Die Vorrichtung zur mechanischen Abwasserreinigung ist ein Filter, bevorzugt ein Mikrofilter und besonders bevorzugt ein Ultrafilter, und kann mit den oben beschriebenen Verfahren zur Fest-Flüssig-Trennung deckungsgleich sein. Die Vorrichtung zur Fest-Flüssig-Trennung, in dem der oder die Filter eingebaut sind, ist bevorzugt ein Rotationsscheibenfilter und besonders bevorzugt ein Zentrifugalmembranfilter. Zur biologischen Reinigung des Prozesswasser beziehungsweise Abwassers kommt eine Vorrichtung zum Einsatz, die den komplexen Anforderungen zur Reinigung am ehesten gerecht wird. Zum Beispiel soll bevorzugt eine Vorrichtung in Stahlbauweise verwendet werden, zum Beispiel ein Hochleistungsbioreaktor im Biomembranverfahren, bevorzugt eine aerobe Prozesswasserbehandlung, besonders bevorzugt ein Schlaufenreaktor. Der Schlaufenreaktor soll in seiner Auslegung über eine leistungsfähige Düse zur Vermischung der festen und flüssigen Phase verfügen. Alternativ oder zusätzlich zum aeroben Verfahren kann ein Reaktor zur anaeroben Prozesswasserbehandlung oder auch reverse Elektrodialyse (Electrodialysis Reversal) insbesondere zur Nitratrückgewinnung, Destillations-Verdampfungs- und/oder Ionenaustauscherverfahren sowie Aktivkohle eingesetzt werden.

[0096] Die Geruchsbelastung stellt sowohl Anforderungen an die Lagerung und den Transport des Feststoffs als auch an die Auslegung der Anlage, Gebäude und Förderanlage. Die Intensität der Geruchsbelastung nimmt mit der Dauer der Lagerzeit ab. Das Gebäude beziehungsweise die Lager- und Transpor-

träume, insbesondere für die Brennstoffe, sollen luftbeziehungsweise geruchsdicht ausgelegt sein, so dass die belastete Luft nicht entweichen kann. Zugänge zum Gebäude werden über Schleusen abgedichtet. Es wird/werden eine oder mehrere chemische und/oder biologische Luftreinigungsanlagen installiert, so dass die Geruchsbelastung für Mitarbeiter, Lieferanten und Anwohner auf ein Minimum reduziert wird.

[0097] Die Abkühlung des Reaktionsprodukts insbesondere unterhalb der Siedetemperatur bei einem bar Absolutdruck erfolgt in der Regel außerhalb des Reaktionsraums bevorzugt in einer Vorrichtung zur Entspannung. Die dabei freigesetzte Wärmeenergie kann über Wärmetauscherprozesse für andere Prozesse verfügbar gemacht werden.

[0098] Vor, während oder nach diesem Prozess finden ein oder mehrere Zerkleinerungsschritte statt. Dazu werden bevorzugt Mühlen oder Pressverfahren eingesetzt.

[0099] Die Abtrennung der festen Phase aus dem Reaktionsgemisch erfolgt im ersten Schritt in der Regel in mechanischen und im zweiten Schritt in thermischen Trennvorrichtungen. Ein statischer Eindicker wird zur Verminderung des Wassergehalts unter Einwirkung der Schwerkraft mit oder ohne mechanische, sich drehende Vorrichtung beziehungsweise Krähwerk, zum Beispiel ein Standeindicker oder Durchlauf-eindicker verwendet. Die Regelung der Zulaufmenge kann von einem Dosierapparat übernommen werden. Bei entsprechend großen Volumina ermöglicht der Apparat das eingedickte Gemisch, dosiert und auf mehrere Maschinen, gleichmäßig abzugeben. Der Eindicker kann auch direkt in die Trocknungsvorrichtung integriert werden. Eine vorteilhafte Auslegung der Konus-Konstruktion ermöglicht, dass die Trocknungsvorrichtung direkt mit dem Gemisch beschickt wird. Bei entsprechender Anpassung der Prozessgrößen kann somit auf externe Installationen verzichtet werden. Alternativ kann das einzudickende Gemisch unter Druck auf eine gewölbte Siebfläche beziehungsweise auf ein Bogensieb aufgegeben werden. Die entstehende Zentrifugalkraft drückt einen Teil der Flüssigkeit durch die Siebschlitze. Das eingedickte Gemisch wird am Ende der Siebbahn zusammengefasst und der Trocknungsvorrichtung zugeführt. Ein weiteres vorteilhaftes mechanisches Trennverfahren bietet ein Hydrozyklon, in dem Feststoff und Flüssigkeit durch Zentrifugalbeschleunigung getrennt werden. Das eingedickte Gemisch im Unterlauf wird der Trocknungsvorrichtung zugeführt und die prozessierte beziehungsweise geklärte Flüssigkeit verlässt im Überlauf den Hydrozyklon. Durch vorgeschaltete und abgestimmte Eindickapparate und zwischengeschaltete Dosiervorrichtungen kann ein kontinuierlicher und optimierter Zulauf zur Trocknungsvorrichtung gewährleistet werden. Dies

ist insbesondere bei Verwendung einer Schubzentrifuge zur Trocknung von Bedeutung. Schubzentrifugen verfügen über eine hohe eine Betriebssicherheit und sind zum Entfeuchten und Waschen körniger Feststoffe geeignet.

[0100] Neben mechanischen Vorrichtungen, die der Trocknung zumeist aus energetischen Gründen vorzuschalten sind, werden thermische Trennverfahren zur Trocknung bevorzugt eingesetzt. Die der Trocknung zugeführten Mengen liegen über einem Kilogramm Gewicht. Einem Chargenbetrieb ist ein kontinuierlicher Betrieb vorzuziehen. Die Trocknung erfolgt durch mindestens einen oder mehrere Trockner oder durch eine Kombination verschiedener Vorrichtungen zur Trennung und/oder Trocknung. Zur Trocknung der Reaktions- und/oder Nebenprodukte wird zum Beispiel ein Konvektionstrockner verwendet. Dabei kommt das Trockengut mit heißem Trocknungsgas in Kontakt. Nachteilig ist dabei, dass das verwendete Gas abzuführen ist und in der Regel mit Staubabscheidern gereinigt werden muss. Gegebenenfalls wird das Gas nach Kondensieren der Feuchtigkeit zurückgeführt. Als Konvektionstrockner kann beispielsweise ein Wirbelschichttrockner eingesetzt werden. Ebenso können Sprüh-, Düsenturm- oder Stromtrockner in Abhängigkeit von der vorliegenden beziehungsweise erwünschten Partikelgröße verwendet werden. Vorteilhaft ist ein kontinuierlicher Prozess, bei dem ein oder mehrere Horden-, Trommel- oder Tunneltrockner eingesetzt werden.

[0101] Bei der Verwendung eines Kontaktrockners steht im Wesentlichen nur die Kontaktfläche für den Wärmeübergang zur Verfügung. Es wird ein Band-, Vakuumband-, Trommel-, Schnecken-, Zylinder-, Walzen- oder Bandtrockner und bevorzugt ein Vakuumschichttrockner oder -trockner eingesetzt. Zur Erzielung geringerer Feuchtigkeitsgehalte kann je nach Durchsatzrate alternativ oder zusätzlich zum Beispiel auch ein Tellertrockner verwendet werden. Die Trocknung kann mittels eines heißen gasförmigen Mediums wie zum Beispiel Luft bei Temperaturen zwischen 61 und 95 Grad Celsius, bevorzugt zwischen 65 und 90 Grad Celsius und weiter bevorzugt zwischen 70 und 85 Grad Celsius, erfolgen. Alternativ wird vor allem in den thermischen Trocknungsvorrichtungen als Gas neben Luft bevorzugt überhitzter Wasserdampf und besonders bevorzugt Wasserdampf mit einer Temperatur von 130 bis 180 Grad Celsius eingesetzt.

[0102] Bevorzugt wird ein kombiniertes mechanischthermisches Verfahren zur Trennung beziehungsweise Trocknung angewendet. Der Vorteil eines mechanisch-thermischen Prozesses im Vergleich zu den konventionellen Verfahren liegt in einer deutlich geringeren Restfeuchte des Produkts, wodurch gerade bei feinen Partikel- oder Nanosystemen eine verbesserte Förderfähigkeit des Produkts

erreicht wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass gleichzeitig eine teilweise Auswaschung von Verunreinigungen aus dem Reaktionsprodukt durch den kondensierenden Dampf erfolgt. Der Einsatz von Dampf als weiteres treibendes Entfeuchtungspotential bringt eine Steigerung der Leistung für filtrierend arbeitende Zentrifugen mit sich. Der Mechanismus der ebenen mechanischen Verdrängung durch eine Kondensationsfront wirkt zusammen mit der Massenkraft und führt auch bei kleinsten Reaktionsprodukten bis hin zum Nanobereich praktisch zu einer vollständigen Entleerung des Grobkapillarsystems. Zu den Verfahren, die diesen Mechanismus ausnutzen zählt beispielsweise die Dampf-Druckfiltration. Sie wendet anstelle von Druckluft gesättigten oder überhitzten Dampf für eine Gasdifferenzdruckentfeuchtung an. Besonders bevorzugt wird eine Dampf-Drucküberlagerte Zentrifugalentfeuchtung angewendet. Der Prozess der kombinierten Dampfdruck- und Zentrifugalentfeuchtung überführt den feindispersen Feststoff des Reaktionsprodukts von der Suspension direkt in einem Verfahrensraum in ein trockenes, reines, rieselfähiges erfindungsgemäßes Endprodukt.

[0103] Nach der Umwandlungsreaktion liegt das Reaktionsgemisch als Suspension vor. In Abhängigkeit von den Ausgangsstoffen und der Prozessführung entstehen aus Biomasse unter anderem folgende Reaktions-, Zwischen-, Neben- und/oder Endprodukte: Brennstoffe von Torf, über Braunkohle bis zu Steinkohle-ähnlichen Brennstoffe, Humus, Maillard- oder Maillard-ähnlichen Reaktionsprodukte, kohlenstoffhaltige Werkstoffe wie Dammstoffe, Nano-schwämme, -kügelchen, -fasern, -kabel, Aktiv- oder Sorptionskohle, Grillkohleersatzstoff, hochverdichtete Kohlenstoffprodukte und Werkstoffe und insbesondere auch Ausgangsstoffe für Graphit und graphithaltige oder -artige Produkte sowie Kohlenstofffasern und Ausgangsstoffe für Verbund- oder Faserverbundwerkstoffe.

[0104] Aus den Ausgangsstoffen werden im Verlauf der Prozessführung auch organische als auch anorganische Stoffe herausgelöst beziehungsweise leichter verfügbar und zugänglich gemacht. Dies geschieht zum Teil dadurch, dass die Stoffe in die wässrige Phase gehen, in der sie zum Teil in Lösung gehen. Dies hängt wiederum von den Reaktionsbedingungen ab. Zu den herausgelösten beziehungsweise leichter verfügbaren und zugänglichen Stoffen zählen neben den organisch gelösten und nicht-gelösten Stoffen auch anorganische Stoffe, wie Alkalien, Metalle, Salze und Säuren einschließlich huminsäure-ähnliche Stoffe, Chlor, Eisen, Phosphor, Kalium, Natrium, Stickstoff und deren Verbindungen.

[0105] Die festen kohlenstoffhaltigen Bestandteile des Reaktionsprodukts des erfindungsgemäßen Verfahrens weisen unter anderem folgende Eigenschaften auf:

- Kohlenstoffanteil: nach Trocknung mindestens über 50 Prozent. Selbst bei Auslassung eines Katalysatorbestandteils kann dieser Wert noch erreicht werden. Bei optimierter Behandlung der Biomasse und Prozessführung kann ein Kohlenstoffanteil von 55 bis 77 Prozent erreicht werden. Bei optimaler Prozessführung, günstigen Ausgangsstoffen einschließlich Abstimmung des Katalysatormischs lassen sich Kohlenstoffwerte von 78 Prozent und mehr erzielen und ist damit dem fossiler Brennstoffe vergleichbar.
- Insgesamt bis zu 65 Prozent des ursprünglichen Brennwertes der trockenen Biomasse bleiben erhalten.
- Durch Depolymerisations- und neue Polymerisationsprozesse bilden sich völlig neue chemische Kohlenstoffverbindungen und Strukturen, insbesondere bilden sich Agglomerate, die mit geringerem Energieaufwand zerkleinert werden können als die meisten bekannten Brennstoffe.
- Die Dichte vieler Ausgangsstoffe liegt vor Reaktionsbeginn unter der von Wasser. Während des Reaktionsverlaufs nimmt die Dichte kontinuierlich zu und erreicht in Abhängigkeit der Ausgangsstoffe und Reaktionsführung eine Dichte vergleichbar mit Steinkohle erreichen.
- Geringe Partikelgröße und dadurch größere Oberfläche
- Trocknung bei gleichem Feuchtigkeitsgehalt leichter möglich als bei natürlich vorkommenden Kohlenstoffverbindungen mit vergleichbarem Kohlenstoffgehalt.
- Zu den wichtigsten Unterscheidungsmerkmalen der Reaktionsprodukte zählt das Vorliegen von Maillard- oder Maillard-ähnlichen Reaktionsprodukten sowohl in der flüssigen als auch in der festen Phase.
- Relativ unabhängig vom Ausgangsstoff kommt es zu einer bräunlich-schwarzen Färbung.
- Die starke und intensive Geruchsbildung variiert mit den Ausgangsstoffen. Die Geruchsbildung hängt ursächlich mit der Bildung von Maillard-Reaktionsprodukten zusammen.
- Verbesserte elektrische Leitfähigkeit im Vergleich zu anderen natürlich vorkommenden Kohlenstoffverbindungen mit vergleichbarem Kohlenstoffgehalt.
- Torf- bis Steinkohle-ähnlicher Brennstoff.
- Weniger flüchtige Bestandteile als gebräuchliche oder fossile Brennstoffe mit gleichem Kohlenstoffanteil.
- Geringere Aschebildung durch Verbrennung, niedrigerer Gehalt an Stickstoff, Schwefel, Nitrat, Schwermetalle und reaktiver, das heißt niedrigere Selbstentzündungstemperaturen als bei vergleichbaren fossilen Brennstoffen mit ähnlich hohem Kohlenstoffanteil.
- Vorteilhafte und weniger schädliche Zusammensetzung der Rauchgase durch Verbrennung als vergleichbarer fossiler Brennstoff mit ähnlich ho-

hem Kohlenstoffanteil.

[0106] Insgesamt ergeben sich aus den oben aufgeführten Charakteristika des neuen Reaktionsprodukts zahlreiche Vorteile gegenüber herkömmlichen Brennstoffen sowie umwelt- und klimafreundliche Eigenschaften. Gegenüber den gebräuchlichen Verfahren zur Energiegewinnung aus Biomasse ist das Behandlungsverfahren zum Zweck einer industriellen Herstellung von Brennstoffen aus Biomasse effizienter und wirtschaftlicher. Bei der stofflichen Umwandlung der Biomasse geht praktisch kein Kohlenstoff verloren. In der Regel geht über 95 Prozent des Kohlenstoffs, der im Ausgangsstoff enthalten ist, in die festen Bestandteile des Reaktionsprodukts über, der zur Energiegewinnung genutzt werden kann. In der flüssigen Phase findet sich der Rest der Kohlenstoffverbindungen. Während der Umwandlungsreaktion im Reaktor werden praktisch kaum nennenswerte Mengen von Kohlendioxid oder andere klimaschädliche Gase freigesetzt.

[0107] In der flüssigen Phase findet sich etwa 1–4 Prozent des Kohlenstoffs der Ausgangsstoffe. Der Anteil hängt von der Prozessführung, insbesondere vom Kohlenstoffgehalt des Ausgangsstoffs und vom Flüssig-Fest-Verhältnis des Reaktionsgemischs ab.

[0108] Durch die Reaktionsführung und insbesondere durch die Auswahl und Zusammensetzung der Ausgangsstoffe und Katalysatoren werden kohlenstoffhaltige Nanowerkstoffe und -strukturen geformt. Diese Werkstoffe weisen zum Teil nützliche Material- und Oberflächeneigenschaften auf. Dazu gehören zum Beispiel Nanoschwämme, die als Wasserspeicher oder Dammstoffe eingesetzt werden können.

[0109] Die so genannte Maillard-Reaktion findet bei Erhitzungsverfahren wie Backen, Braten, Rösten, Grillen und Frittieren von eiweißhaltigen und kohlenhydratreichen Lebensmitteln bei Temperaturen über 130°C statt. Im Verlauf der so genannten Maillard-Reaktion entstehen aus Kohlenhydraten und Aminosäuren neben einer Vielzahl von Aromastoffen rot- bis gelbbraune, manchmal fast schwarz gefärbte Polymere – die Melanoidine. Durch hohe Temperaturen, wie sie beim Backen und Rösten auftreten, aber auch durch höhere Drücke wird die Reaktion beschleunigt und besonders viele und dunkle Melanoidine gebildet. Sie stellen deshalb in Produkten wie Brot, Kaffee, Malz, Nüssen oder Cornflakes einen nicht unerheblichen Anteil am Lebensmittel dar – in Kaffee sind es beispielsweise bis zu 30 Prozent.

[0110] Die Ausgangsstoffe der Maillard-Reaktion bilden in einer ersten nicht-enzymatischen Reaktion eine Schiff'sche Base. Dieser Schritt vollzieht sich innerhalb von Minuten bis Stunden und ist reversibel, da die Schiff'sche Base eine sehr instabile Verbindung ist. Die Menge der Schiff'schen Base ist direkt

von der Glucosekonzentration abhängig, da das Produkt innerhalb von Minuten zerfällt, wenn der Reaktion Glucose entzogen oder die Konzentration verringert wird. Im Weiteren lagert sich die instabile Schiff'sche Base zu dem weitaus stabileren Amadori-Produkt um. Dieser Prozess ist wesentlich langsamer, aber da er weniger reversibel ist, akkumulieren die Amadori-Produkte. Die primären Amadori-Produkte lagern sich um und reagieren weiter zu den Endprodukten der Maillard-Reaktion, den Advanced Glycation Endproducts (AGE). Durch Umlagerung und Polymerisation können die AGEs Quervernetzungen mit anderen Proteinen ausbilden. Aufgrund des Entstehungsweges gibt es sehr viele verschiedene und komplexe Formen von AGEs, wobei N ϵ -(carboxymethyl)Lysin (CML), Furosin und Pentosidin bisher am intensivsten untersucht wurden.

[0111] Maillard- oder Maillard-ähnliche Reaktionsprodukte werden bei der Hydrothermalen Karbonisierung in hohen Konzentrationen gebildet. Sowohl in der festen (v. a. Feststoffe) als auch in der flüssigen Phase (z. B. Prozesswasser) finden sich relativ hohe Konzentrationen der Indikatorsubstanz CML, die in der Regel zwischen 0,3–2 mmol/mol Lysin liegen. In der flüssigen Phase, das heißt im Prozesswasser liegen in der Regel höhere Konzentrationen vor, als in der festen Phase des Reaktionsprodukts. Die Konzentrationen beziehungsweise Konzentrationsverhältnisse sind vom Fest-Flüssig-Verhältnis sowie von der Zusammensetzung der Ausgangsstoffe sowie der Prozessführung abhängig. CML werden antioxidative und chemopräventive Eigenschaften zugesprochen. Es ist daher davon auszugehen, dass vergleichbare oder ähnliche Eigenschaften auch bei anderen Zwischen-, Neben- oder Reaktionsprodukten der hydrothermalen Karbonisierung einschließlich der Maillard- oder Maillard-ähnliche Reaktionsprodukte zu finden sind.

[0112] Isolation und Aufreinigung der Maillard- oder Maillard-ähnlichen Reaktionsprodukte erfolgen unter anderem über Filtration, Ultrafiltration und/oder chromatographische Verfahren insbesondere über Säulenchromatographie.

[0113] Der Humus, der mittels hydrothermalen Karbonisierung im erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wird, entsteht im Vergleich zu Reaktionsprodukten mit höherem Brennwert durch eine vergleichsweise kürzere Verweilzeit. Er weist in der Regel noch faserhaltiges Material (v. a. Lignin und Cellulose) der Ausgangsstoffe auf. Die Vernetzung der Biopolymere ist nicht vollständig aufgehoben. Der erfindungsgemäß hergestellte Humus besitzt einen Kohlenstoffanteil von mindestens 30 bis 45 Prozent und einen Heizwert von mindestens 15 bis 24 MJ/kg und ist gut brennbar.

[0114] Der erfindungsgemäß hergestellte Humus

verfügt z. T. über ähnliche Eigenschaften wie natürlicher Humus und teilweise auch Torf:

- Er schützt den Boden vor Erosion durch Regen, weil das Wasser gleichmäßig und tief einsickern kann,
- reduziert die Erosion durch Wind,
- ernährt Regenwürmer und andere nützliche Bodenorganismen,
- senkt die Bodentemperatur im Sommer und erhöht sie im Winter,
- versorgt die Pflanzen mit Nährstoffen, wobei er sie so langsam abgibt, dass die Pflanzen sie bewältigen können,
- befähigt den Boden, das Wasser schwammartig zu speichern und begrenzt die Verdunstung auf ein Minimum,
- kontrolliert die chemischen Veränderungsprozesse im Boden bei Zugabe von Kalk und organischem Dünger,
- setzt organische Säuren frei, mit denen hoch alkalischer Boden neutralisiert wird, um Mineralien freizusetzen, und
- speichert Ammoniak und andere Stickstoffverbindungen in austauschbarer und verwertbarer Form.

[0115] Im Unterschied zu Humus oder Torf, der sich über lange Zeiträume natürlich gebildet hat, gibt es verschiedene positive Merkmale:

- Die Wasserbindungskapazität lässt sich durch die Prozessführung stark erhöhen und übersteigt die von natürlichem Humus oder Torf deutlich. Sie kann sogar ein Vielfaches betragen.
- Für die Verbrennungseigenschaften treffen die vorgenannten Eigenschaften zu den Reaktionsprodukten der hydrothermalen Karbonisierung zu.

[0116] Durch optimierte Prozessführung, insbesondere durch Konzentrationsgefälle zwischen fester und flüssiger Phase innerhalb des Reaktionsgemischs, können bestimmte Stoffe im Humus angereichert werden. Dies ist bei der Verwertung des Humus als CO₂-Bindungsstoff beziehungsweise Dünger erwünscht. Im Gegensatz dazu wird bei der Verarbeitung oder Beimischung von erfindungsgemäß hergestelltem Humus zu Produkten, bei denen eine Anreicherung bestimmter Stoffe nicht erwünscht ist, durch die Prozessführung eine Anreicherung von mineralischen und für die Produktverwertung schädlichen Stoffen und Alkalien vermieden. Der erfindungsgemäß hergestellte Humus ist ein einheitlicher Humus und Brennstoff, dessen Eigenschaften sich über die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe und der Katalysatoren sowie die Prozessführung berechnen und steuern lassen. Erfindungsgemäß hergestellter Humus kann innerhalb von Stunden hergestellt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren ist damit wesentlich schneller als andere bekannte Produktionsverfahren von Humus, die in der Regel Wochen und Monate in Anspruch nehmen.

[0117] Die erfindungsgemäß hergestellten Brennstoffe einschließlich Torf beziehungsweise Torfähnliche Stoffe haben folgende vorteilhafte Eigenschaften:

- Aus Biomasse entsteht durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Torf- bis Steinkohle-ähnlicher Brennstoff.
- Der Brennwert ist abhängig von der Prozessführung, insbesondere von der Reaktionsdauer. Der Brennwert steigt mit der Reaktionsdauer beziehungsweise Verweilzeit im Reaktor.
- Weniger flüchtige Bestandteile als gebräuchliche oder fossile Brennstoffe mit gleichem Kohlenstoffanteil.
- Die Energieausbeute bis zur Kohle ist 0,7–0,95. Je weniger "Zucker", desto höher der Energieerhalt.
- 90–95%: Lignine bzw. bakterielle Biomasse.
- Die Brennstoffe sind reaktiver und besitzen niedrigere Selbstentzündungstemperaturen als vergleichbarer fossiler Brennstoff mit ähnlich hohem Kohlenstoffanteil.
- Fossile Brennstoffe wie Braunkohle oder Steinkohle weisen im Vergleich zu Brennstoffen, die mittels hydrothermalen Karbonisierung im erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt werden (Brennstoffe), zwar ähnliche Heizwerte auf, unterscheiden sich von Brennstoffen aber deutlich im Hinblick auf die Zusammensetzung und Eigenschaften.
- Die unterschiedlichen Arten und Sorten von fossiler Kohle haben je nach Herkunftsort und Abbaugbiet sehr unterschiedliche chemische Zusammensetzungen und Eigenschaften, so dass jede Kohlesorte einzigartige und unverwechselbare charakteristische Merkmale besitzt. Beispielsweise liegt der Heizwert von fossiler Lausitzer Rohbraunkohle bei 8.700 kJ/kg, der Wassergehalt bei ca. 56 Prozent, Schwefelgehalt bei ca. 0,7 Prozent und der Aschegehalt bei ca. 4,5 Prozent. Sowohl Wasser-, Schwefel- und Aschegehalt des Brennstoffs sind geringer während der Brennwert in der Regel deutlich 20.000 kJ/kg liegt. Unabhängig vom Wassergehalt kann aus 1 Kilogramm fossiler Lausitzer Rohbraunkohle in der Lausitz 1 Kilowattstunde Strom erzeugt werden kann. Dagegen kann aus der gleichen Menge Brennstoff mehr als das Doppelte an Strom erzeugt werden.
- Im Gegensatz zu fossiler Kohle finden sich im Brennstoff gut nachweisbare Konzentrationen an Maillard-Reaktionsprodukten. Als Indikator hat sich Nε-(carboxymethyl)Lysin (CML) etabliert. Sowohl in der flüssigen als auch in der festen Phase der Reaktionsprodukte wird diese Verbindung nachgewiesen. Es wurden Konzentrationen von 0,2 bis über 1,5 mmol/mol Lysin gemessen wobei in der flüssigen Phase höhere Anteile als in der festen gemessen wurden. Die Verteilung der Konzentrationen ist jedoch abhängig von den Aus-

gangsstoffen, den Reaktionsbedingungen und der Prozessführung.

- Fossile Kohle liegt nach dem Abbau in Klumpen beziehungsweise je nach Abbautiefe in relativ hochverdichteten Agglomeraten vor, die unter hohem Energieaufwand zerkleinert werden müssen. Weiter muss sie getrocknet und in Kohlemühlen zu feinem Braunkohlenstaub zermahlen werden. Im Gegensatz dazu liegen Brennstoffe nach Abschluss des Prozesses als kleine Partikel in der Regel unter 1 Millimeter bis unter 30 Nanometer Größe vor und sind aufgrund ihrer großen Oberfläche leichter zu trocknen. Damit ist der Energieaufwand zur Konditionierung und insbesondere Trocknung von Brennstoffen wesentlich geringer im Vergleich zu fester fossiler Kohle.

- Insbesondere sind die Verbrennungseigenschaften des Brennstoffs nicht nur gegenüber fossilen Kohlesorten sondern auch gegenüber den meisten bisher verfügbaren Brennstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen günstiger. Mindestens einer meist aber mehrere oder alle der folgenden Parameter fallen bei Brennstoffen insbesondere gegenüber den Ausgangsstoffen beziehungsweise alternativen fossilen oder Biomasse-Brennstoffen günstiger aus: verminderter Ascheanteile, weniger Chlor, Nitrat, Schwefel, Schwermetalle sowie geringere Emissionen von Staub, Feinstaub und gasförmigen Schadstoffen einschließlich Stick- und Schwefeloxide. Dies gilt auch für die gepressten Formen von Brennstoffen wie Briketts und Pellets.

- Die Qualität des Brennstoffs und die Verbrennungseigenschaften ist abhängig vom Ausgangsstoff beziehungsweise dem Gemisch der Ausgangsstoffe, von der Prozessführung, vom Katalysatorgemisch und von der Zusammensetzung des Prozesswassers,

- Ausgangsstoffe mit hohen Anteilen an Fett und Energiegehalt führen zu Brennstoffen mit höheren Heizwerten. Beispielsweise kann bei der Verarbeitung besonders geeigneter Klärschlämmen Heizwerte von 34–36 MJ/kg erzielt werden.

- Der Aschegehalt nach Verbrennung des Brennstoffs mit einem Brennwert von 30–33 MJ/kg ist im Vergleich zum Ausgangsstoff mit einem Brennwert von 17–20 MJ/kg um bis zu 75 Prozent und mehr vermindert.

- Der Schwefelgehalt nach Verbrennung des Brennstoffs mit einem Brennwert von 30–33 MJ/kg ist im Vergleich zum Ausgangsstoff mit einem Brennwert von 17–20 MJ/kg um bis zu 50 Prozent und mehr geringer.

- Die Feinstaub- und Gasemissionen sind im Vergleich zum Ausgangsstoff geringer.

- Das Verbrennungsergebnis wird durch die Einheit von Prozessführung, aufbereitungsabhängiger Brennstoffqualität und Feuerungstechnik bestimmt.

- Der Brennstoff ist ein einheitlicher Brennstoff,

dessen Eigenschaften sich über die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe und der Katalysatoren sowie die Prozessführung berechnen und steuern lassen.

- Neben den bereits angeführten Unterschieden bei den Verbrennungseigenschaften sind dies zusätzliche Unterscheidungsmerkmale zu fossilen Brennstoffen wie Steinkohle, Braunkohle oder Torf.

[0118] Herstellung von Briketts aus Partikeln und Staub aus Reaktionsprodukten des erfindungsgemäßen Verfahrens (Briketts, Staub):

- Neben hoher Festigkeit und Dichte von Briketts sind eine schnelle Zündung und ein gutes Abbrandverhalten die wichtigsten Kriterien für Briketts.

- Durch eine starke Kreuzprofilierung von etwas ein bis zwei Zentimeter Tiefe mit Neigungswinkeln zwischen 30 bis 70 Grad verbessert sich das Zündverhalten durch eine verbesserte Luftströmung im Feuerraum und bietet eine größere spezifische Oberfläche, was zu einem besseren Ausbrennen des Briketts führt.

- Entscheidend für Stabilität und Brennverhalten ist das Mischungsverhältnis von erfindungsgemäß erzeugtem Mahlstaub zu Cellulose- beziehungsweise Lignin-haltige Komponenten.

- Das optimale Verhältnis von Staub mit Heizwerten von 25–30 MJ/kg zu Holzspänen beziehungsweise Holzhackschnitzeln liegt bei 53:47, bevorzugt bei 58:42 und besonders bevorzugt bei 64:36. Der Wassergehalt der Holzspäne beziehungsweise Holzhackschnitzel sollte dabei um die 10 Prozent liegen. Die Partikel sollten nicht größer als 2 mm, bevorzugt kleiner 1,5 mm und besonders bevorzugt kleiner 1 mm sein.

- Das optimale Verhältnis von Staub mit Heizwerten von 22–25 MJ/kg zu Stroh liegt bei 61:39, bevorzugt bei 66:44 und besonders bevorzugt bei 72:28. Der Wassergehalt der Holzspäne beziehungsweise Holzhackschnitzel sollte dabei um die 10 Prozent liegen. Die Partikel sollten nicht größer als 2 mm, bevorzugt kleiner 1,5 mm und besonders bevorzugt kleiner 1 mm sein.

- Den obigen Verhältnissen entsprechend wird Staub mit Torf mit äquivalentem Cellulose- und Lignin-Gehalt zu Briketts verarbeiten.

- Torf kann auch allein bei äquivalentem Cellulose- und Lignin-Gehalt zu Briketts verarbeitet werden.

- Der Staub und Cellulose- und Lignin-haltigen Zusatzstoffe beziehungsweise Torf werden gemeinsam oder allein intensiv vermischt zum Beispiel in einer Schlagnasenmühle mit 2 mm-Conidur-Austragssieb.

- Der Pressdruck liegt über 100 MPa, bevorzugt über 120 MPa und besonders bevorzugt über 140 MPa.

- Die Verpressungstemperatur beträgt bei etwa 80

Grad Celsius und sollte 90 Grad Celsius nicht übersteigen.

- Das bevorzugte Format liegt bei 250 × 60 × 50 mm.
- Die bevorzugte Rohdichte der Briketts liegt bei 0,95–1,15 g/cm³.

[0119] Herstellung von Pellets aus Reaktionsprodukten des erfindungsgemäßen Verfahrens (Pellets):

- Zur Herstellung von Pellets mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens (Pellets) wird das Verfahren der Feuchtpelletierung mit anschließender Agglomeratrocknung bevorzugt. Dieses Verfahren ist dazu geeignet, um aus Brennstoffen unterschiedlicher Heizwerte Pellets mit relativ geringem Aufwand herzustellen.
- Mit Pellets lassen sich gute Verbrennungsergebnisse in handelsüblichen automatischen Feuerungssystemen erzielen.
- Dabei werden die festgelegten Emissionsnormen für Kleinf Feuerstätten erfüllt.
- Voraussetzung ist die Darbietung des Brennstoffs in einer kleinstückigen und möglichst gleichförmigen Form.
- Die Pellets besitzen einen Durchmesser von 3–7 mm und bevorzugt von 4–6 mm. Die Länge liegt zwischen 5 und 45 mm. Sie weisen eine hohe Festigkeit, Staubarmut und Wasserbeständigkeit auf und lassen sich gut dosieren.
- Die Pellets werden den vollautomatisierten Pelletöfen oder -kesseln kontinuierlich zugeführt und dort geregelt verbrannt.
- Durch eine gleichmäßige und möglichst vollständige Verbrennung unter optimierten Bedingungen lässt sich ein hoher thermischer Wirkungsgrad bei minimalen Schadstoffemissionen erzielen.
- Bei hohen Heizwerten über 25 MJ/kg und bevorzugt über 27 MJ/kg werden Bindestoffe und Verbrennungsbeschleuniger eingesetzt, insbesondere Tapetenleim, Wiesengras, Stroh und andere Lignocellulose-haltige Biomasse.
- Das optimale Verhältnis von Staub mit Heizwerten von 25–30 MJ/kg zu Holzspänen beziehungsweise Holzhackschnitzeln oder Lignocellulose-haltige Biomasse liegt bei 81:19, bevorzugt bei 85:15 und besonders bevorzugt bei 89:11.
- Das optimale Verhältnis von Staub mit Heizwerten von 22–25 MJ/kg zu Holzspänen beziehungsweise Holzhackschnitzeln oder Lignocellulose-haltige Biomasse liegt bei 87:13, bevorzugt bei 90:10 und besonders bevorzugt bei 93:7.
- Ein Anteil von etwa bis zu 30 Prozent an der Lignocellulose-haltigen-Biomasse kann zum Beispiel durch Tapetenleim ersetzt werden.
- Der Wassergehalt der Holzspäne beziehungsweise Holzhackschnitzel oder anderer Lignocellulose-haltige Biomasse sollte dabei um die 12–14 Prozent liegen.
- Die Partikel sollten nicht größer als 2 mm, bevorzugt kleiner 1,5 mm und besonders bevorzugt

kleiner 1 mm sein.

- Den obigen Verhältnissen entsprechend wird Staub mit Torf mit äquivalentem Cellulose- und Lignin-Gehalt zu Pellets verarbeiten.
- Torf kann auch allein bei äquivalentem Cellulose- und Lignin-Gehalt zu Pellets verarbeitet werden.
- Der Staub und Cellulose- und Lignin-haltigen Zusatzstoffe beziehungsweise Torf werden gemeinsam oder allein intensiv vermischt zum Beispiel in einer Schlagnasenmühle mit 2 mm-Conidur-Austragssieb.
- Der Pressdruck liegt über 100 MPa, bevorzugt über 120 MPa und besonders bevorzugt über 140 MPa.
- Die Verpressungstemperatur beträgt bei etwa 80 Grad Celsius und sollte 90 Grad Celsius nicht übersteigen.
- Die wichtigsten Anpassungen an die Pellets insbesondere gegenüber Pellets aus fossilen Brennstoffen ergeben sich aus den verbesserten Verbrennungseigenschaften und liegen im Bereich des Sinterverhaltens der Kohlenasche, der Ascheabräumungsmethode (in der Regel geringerer Aschegehalt) und der Größe des Brenntellers.

[0120] Aus den mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellten Brennstoffen kann in besonders vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung Energie erzeugt werden. Die Verbrennung der erfindungsgemäß hergestellten Brennstoffe erfolgt je nach Konditionierung in unterschiedlichen Vorrichtungen:

- In Pelletform wird der Brennstoff in der Regel in Pelletöfen, Pelletkesseln oder Anbaubrennern bevorzugt mit automatischer Brennstoffzufuhr verbrannt. In der Regel können handelsübliche Verbrennungsanlagen verwendet werden. Zur Verbesserung der Brenneigenschaften können erfindungsgemäße Verbrennungsanlagen in folgenden Bereichen an die veränderten Brenneigenschaften angepasst werden:
 - Anpassung der Form und Größe des Brenntellers an den Aschegehalt. Da dieser geringer ist, können kleinere Brenntellerdurchmesser zu einer verbesserten Verbrennung führen.
 - Zur Verhinderung von Anbackungen am Brennteller, ist eine automatische Vorrichtung zur Entfernung der Asche vom Brennteller zu empfehlen. In der Regel sind die Anbackungen geringer als bei Brennstoffpellets aus natürlich vorkommenden Kohlearten, insbesondere Braunkohle.
- Die Verbrennung des erfindungsgemäßen Staubs erfolgt in einem Kohlekraftwerk mit mindestens einer Dampfturbine. Zur Erzielung hoher Wirkungsgrade findet der Verbrennungsprozess bei möglichst hohen Temperaturen von über 600 Grad Celsius, bevorzugt über 650 Grad Celsius und besonders bevorzugt über 700 Grad Celsius

statt.

- Weitere Effizienzsteigerung im Hochtemperaturbereich sollen durch den Einsatz moderner Kraftwerkstechnologien genutzt werden, so dass eine kombinierter Gas-Dampfturbinenprozess mit höchstmöglichen Effizienzgraden zur Stromerzeugung höher als 43 Prozent, bevorzugt höher als 46 Prozent, besonders bevorzugt 49 Prozent bis 55 Prozent, realisiert wird.
- Für eine Nutzung des Kombiprozesses ist das IGCC-Konzept mit integrierter Kohlevergasung, bevorzugt auch Wirbelschichtfeuerungen, vor allem die druckaufgeladene stationäre Wirbelschichtfeuerung (DWSF) mit Kombiprozess und besonders bevorzugt Kombikraftwerke mit Druckkohlenstaubfeuerung (DKSF) geeignet.
- Der Verbrennungsprozess weist eine Gaseintrittstemperatur von > 1.000 Grad Celsius, bevorzugt > 1.200 Grad Celsius und besonders bevorzugt > 1.400 Grad Celsius, auf.
- Der Hochtemperaturgasreinigung ist so geartet, dass der Partikelgehalt und der Gehalt an korrosiv wirkenden Inhaltsstoffen, insbesondere Natrium- und Kaliumverbindungen, als auch Schadgasen so weit verringert wird, dass das Rauchgas unmittelbar einer Gasturbine zugeleitet werden kann, bevorzugt unter Ausnutzung der Niedertemperaturplasma-Eigenschaften des Rauchgases.
- Durch den Rauchgasabscheider wird ein Partikelgehalt $< 3 \text{ mg/m}^3$ i. N. bei $d < 3$ Mikrometer, Alkaligehalt $\leq 0,01 \text{ mg/m}^3$ i. N. realisiert.
- Ein weiterer Weg zur Erzeugung von Strom bzw. Energie aus Brennstoffen, nach dem erfindungsgemäßen Verfahren insbesondere von Staub, ist die Nutzung in einer Kohlenstoff-Brennstoffzelle.
- Synergien können mit anderen Energieträgern und/oder Energieerzeugungsverfahren hergestellt werden durch gemeinsame Nutzung von Vorrichtungen zur Energieerzeugung insbesondere von Turbinen, insbesondere eine Dampf- oder Gasturbine zur Energieerzeugung.
- Zu den erneuerbaren Energien bei denen sich eine gemeinsame Nutzung von Turbinen und insbesondere von Dampf- oder Gasturbinen anbietet ist das Dispatchable Wind Power System (DWPS). Dabei wird komprimierte Luft in einem Luftspeicher dekomprimiert. Diese Druckluft wird dann zusätzlich in eine ohnehin laufende Turbine eingeleitet.
- Der Wirkungsgrad erhöht sich durch Einleitung der Druckluft in eine ohnehin laufende Turbine um mehr als 20 bis 200 Prozent, bevorzugt 40 bis 170 Prozent und besonders bevorzugt um 60 bis 150 Prozent.

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 Nicht-Patentliteratur

- DIN-Bezeichnungen u. a. 1.4571 [\[0075\]](#)
- (1.4404) [\[0075\]](#)
- 1.4435 [\[0075\]](#)
- 1.4539 [\[0075\]](#)
- 1.4439 [\[0075\]](#)
- 1.4462 [\[0075\]](#)
- 1.4529 [\[0075\]](#)
- 1.4501 [\[0075\]](#)
- 2.4610 [\[0075\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Brennstoffen, kohlenstoffhaltigen Werk- und Nutzstoffen, Humus und/oder Maillard- bzw. Maillard-ähnlichen Reaktionsprodukten aus Biomasse, das zumindest die folgenden Schritte umfasst:

- a) Behandlung der Biomasse bei einer Temperatur von über 100 Grad Celsius und einem Druck von über 5 bar für eine Behandlungsdauer von mindestens 1 Stunde sowie
- b) Bearbeitung der Biomasse und/oder Aufarbeitung der Reaktions-, Zwischen-, Neben- und/oder Endprodukte.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dieses kontinuierlich oder semikontinuierlich durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur auf über 160 Grad Celsius, vorzugsweise zwischen 160 und 300 Grad Celsius, besonders bevorzugt zwischen 185 und 225 Grad, eingestellt und/oder dass die Temperatur automatisch gesteuert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck auf mindestens 7 bar, vorzugsweise zwischen 10 und 34 bar, besonders bevorzugt zwischen 10 und 17 bar, 18 und 26 bar oder 27 und 34 bar, eingestellt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Behandlungsdauer mindestens 2 Stunden, vorzugsweise 3 bis 60 Stunden, besonders bevorzugt 5 bis 30 Stunden oder 31 bis 60 Stunden, insbesondere 6 bis 12 Stunden oder 13 bis 24 Stunden, beträgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Behandlungsdauer in Abhängigkeit von der Art der Biomasse und/oder dem gewünschten Reaktionsprodukt gewählt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Biomasse vorbehandelt wird, vorzugsweise durch Entwässerung, Zerkleinerung, Vorinkubation mit Hilfsstoffen, Vermischung und/oder Vorwärmung.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Biomasse vor der Behandlung bei saurem pH-Wert inkubiert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der pH-Wert unter 6, vorzugsweise unter 5, weiter bevorzugt unter 4, besonders bevorzugt unter 3, insbesondere unter 2, liegt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

dadurch gekennzeichnet, dass die Biomasse vor, während und/oder nach der Behandlung zerkleinert, vorzugsweise gehäckselt und/oder gemahlen, wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikelgröße der zerkleinerten Biomasse vorzugsweise unter 10 cm, besonders bevorzugt unter 1 cm, insbesondere unter 2 mm, liegt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Biomasse vor und/oder während der Behandlung mindestens ein Katalysator zugegeben wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Katalysator gleichzeitig aus mehreren verschiedenen Komponenten zusammengesetzt ist, die gemeinsam ein Katalysatorgemisch bilden.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Katalysator eine anorganische Säure, bevorzugt Schwefelsäure, und/oder eine Di- oder Tricarbonsäure, bevorzugt Wein- oder Zitronensäure, ist.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Säure, die als Katalysator eingesetzt wird, gleichzeitig auch zur Einstellung des sauren pH-Werts für den Inkubationsschritt Verwendung findet.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Katalysator ein oder mehrere Metalle und/oder Metallverbindungen umfasst.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall, die Metalle und/oder die Metallverbindungen mindestens ein Übergangsmetall der Nebengruppen Ia, IIa, IVa, Va, VIa, VIIa und VIIIa des periodischen Systems der Elemente, bevorzugt Nickel, Cobalt, Eisen, Kupfer, Chrom, Wolfram, Molybdän oder Titan, besonders bevorzugt Eisen, umfasst/umfassen.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Katalysator mindestens einen Biokatalysator, vorzugsweise Enzyme, Mikroorganismen, pflanzliche Zellen, tierische Zellen und/oder Zellextrakte, umfasst.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Biomasse vor und/oder während der Behandlung gemischt wird, vorzugsweise durch Rühren, Mischen, Suspendieren und/oder Aufwirbeln.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch ge-

kennzeichnet, dass zum Mischen eine Mischvorrichtung oder mehrere Mischvorrichtungen, insbesondere eine Kombination verschiedener Mischvorrichtungen, bevorzugt mindestens ein Flüssigkeitsstrahlmischer, -pumpe oder eine Düse, eingesetzt wird/werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionsprodukte nach der Behandlung mit einem Trockner, vorzugsweise einem Konvektions- oder Kontaktrockner, besonders bevorzugt mit einem Strom- und/oder Band-, und/oder Wirbelschichtrockner, getrocknet werden.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass im Laufe des Verfahrens anfallendes Prozesswasser, vorzugsweise durch mindestens eine Vorrichtung zur Fest-Flüssig-Trennung, abgezogen wird und/oder gereinigt und in das Reaktionsgemisch zurückgeführt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur Fest-Flüssig-Trennung mindestens eine Vorrichtung zur Mikro-, Ultra-, Nanofiltration- und zum Umkehrosmoseverfahren oder eine Kombination verschiedener vorgenannter Vorrichtungen, bevorzugt mit keramischen Filterelementen und besonders bevorzugt ein Rotations-scheiben und/oder ein Zentrifugalmembranfilter, ist.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass anfallendes Abwasser mechanisch, chemisch und/oder biologisch gereinigt wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Behandlung, Bearbeitung und/oder Aufarbeitung anfallende Abluft mechanisch, chemisch und/oder biologisch gereinigt wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktions-, Zwischen-, Neben und Endprodukte Brennstoffe von Torf, über Braunkohle bis zu Steinkohle-ähnliche Brennstoffe, Humus, Maillard- oder Maillard-ähnliche Reaktionsprodukte, kohlenstoffhaltige Werkstoffe wie Dammstoffe, Nanoschwämme, -kügelchen, -fasern, -kabel, Aktiv- oder Sorptionskohle, Grillkohleersatzstoff, hochverdichtete Kohlenstoffprodukte und Werkstoffe und insbesondere auch Ausgangsstoffe für Graphit und graphithaltige oder -artige Produkte sowie Kohlenstofffasern und Ausgangsstoffe für Verbund- oder Faserverbundwerkstoffe umfassen.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen