

## (12) Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50142/2023 (51) Int. Cl.: C10L 5/44 (2006.01)  
 (22) Anmeldetag: 28.02.2023 C07D 307/50 (2006.01)  
 (43) Veröffentlicht am: 15.09.2023 D21B 1/36 (2006.01)

(30) Priorität: 01.03.2022 SE 2250279-3 beansprucht.	(71) Patentanmelder: Valmet AB 851 94 Sundsvall (SE)
	(72) Erfinder: Lambert Francois 854 60 Sundsvall (SE) Björklund Peter 907 37 Umeå (SE)
	(74) Vertreter: Israiloff Peter Dipl.-Ing. Dr.techn. 1010 Wien (AT) Barger Werner Dipl.-Ing. 1010 Wien (AT)

### (54) VERFAHREN UND ANLAGE ZUR VERARBEITUNG VON LIGNOZELLULOSE-BIOMASSE

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verarbeitung von lignocellulosecellhaltigem Biomassematerial, umfassend

- die Thermische Behandlung (1) des Biomassematerials bei erhöhtem Druck und Temperatur;
- die Gewinnung von Furfural (2) aus dortigen Dämpfen,
- das Mischen (3) eines Rückstands, mit einem Teil des Biomassematerials und/oder mit Nebenprodukten, die Lignin umfassen, wobei die Gewinnung von Furfural (2) Strippen und Rektifizieren in Kombination mit Dekantieren umfasst, und wobei der Rückstand aus einem Reinigungsschritt des rückgewonnenen Furfurals (2) erhalten wird.

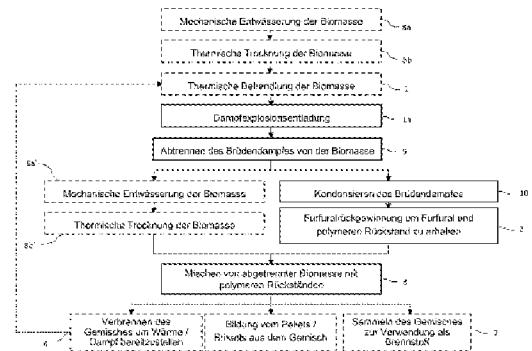


Fig. 1

**Zusammenfassung****VERFAHREN UND ANLAGE ZUR VERARBEITUNG VON LIGNOZELLULOSE-BIOMASSE**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verarbeitung von lignocellulosecellhaltigem Biomassematerial, umfassend

- die Thermische Behandlung (1) des Biomassematerials bei erhöhtem Druck und Temperatur;
- die Gewinnung von Furfural (2) aus dortigen Dämpfen,
- das Mischen (3) eines Rückstands, mit einem Teil des Biomassematerials und/oder mit Nebenprodukten, die Lignin umfassen,

wobei die Gewinnung von Furfural (2) Strippen und Rektifizieren in Kombination mit Dekantieren umfasst, und wobei der Rückstand aus einem Reinigungsschritt des rückgewonnenen Furfurals (2) erhalten wird.

Fig. 1

## **Verfahren und Anlage zur Verarbeitung von Lignozellulose-Biomasse**

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Verfahren zur Verarbeitung von Lignocellulose-Biomasse, die die thermische Behandlung der Biomasse und die Rückgewinnung von Furfural aus den während der thermischen Behandlung aus der Biomasse freigesetzten Dämpfen umfassen. Die Erfindung bezieht sich auch auf ein entsprechendes System.

Die thermische Behandlung von lignocellulosehaltigem Biomassematerial bei erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur ist aus dem Stand der Technik bekannt. Eine solche thermische Behandlung wird beispielsweise zur Herstellung von Faserplatten, Brennstoffpellets oder Brennstoffbriketts eingesetzt. Durch thermische Behandlung hergestellte Pellets werden aufgrund ihrer dunklen Farbe üblicherweise als Schwarzpellets bezeichnet. Ein vorteilhaftes Verfahren zur thermischen Behandlung ist die Dampfexplosion. Unter Dampfexplosion versteht man einen Verfahrensschritt, bei dem das Material einem schnellen/unmittelbaren Druckabfall ausgesetzt wird. Die heiße und erweichte Biomasse aus der thermischen Behandlung wird aus einem unter Druck stehenden Reaktor durch ein Ausblasventil oder eine Öffnung freigesetzt oder ausgeblasen, während der Druck auf eine Umgebung mit wesentlich niedrigerem Druck, z. B. unter 5 bar, oder vorzugsweise auf im Wesentlichen atmosphärischen Druck abfällt. Die Struktur der Biomasse zerbricht, teilweise durch den sich ausdehnenden Dampf, teilweise durch die Scherkräfte und den Aufprall beim Durchblasen der Öffnung oder des Ventils. Die Dampfexplosionsbehandlung erleichtert die anschließende Pelletierung oder Brikettierung, da das (noch) weiche Material leicht verdichtet werden kann. Die Dampfexplosionsbehandlung verbessert die Festigkeit der entstehenden Pellets, da bei der

Dampfexplosion verschiedene Stoffe wie Lignin und Zucker freigesetzt werden.

Aus der Mischung von Dampf und heißer, feuchter Biomasse wird eine große Menge Dampf freigesetzt, der sogenannte "Brüdendampf", der durch das Abblasventil oder die Abblasöffnung abgeleitet wird. Der Brüdendampf wird in einem Abscheider, z.B. einem Zyklon oder einer Zentrifuge, von der Biomasse getrennt. Unter Brüdendampf wird in diesem Zusammenhang ein Gemisch aus (Wasser-)Dampf und flüchtigen organischen Verbindungen verstanden, das bei der thermischen Behandlung/Dampfexplosionsentladung des Biomassematerials freigesetzt wird. Im Einzelnen umfasst der Brüdendampf neben Wasserdampf (als Hauptbestandteil) auch saure Verbindungen in der Gasphase wie Ameisen- und Essigsäure sowie nicht saure Verbindungen wie Furfural und Methanol, die bei der thermischen Behandlung der Biomasse aus den Hemicellulosen freigesetzt werden. Diese Verbindungen gelten als Schadstoffe und dürfen nicht in die Atmosphäre emittiert werden. In manchen Fällen können diese Verbindungen jedoch einen hohen Marktwert aufweisen. Furfural etwa wird alleine verwendet, oder zu Lösungsmitteln, Treibstoffen, Harzen, Fungiziden, Nematiziden und anderen weiterverarbeitet. Die Rückgewinnung wertvoller Verbindungen aus dem Brüdendampf zu verkaufsfähigen Produkten kann daher die Gesamteinnahmen verbessern.

Verfahren zur Rückgewinnung von Furfural aus Brüdendampf sind in der Technik bekannt. WO2021167511 offenbart ein Verfahren zur Rückgewinnung von Energie aus einem kontinuierlich betriebenen Dampfexplosionsreaktor zur Herstellung von Biomassepellets oder -briketts, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Kondensieren eines Brüdendampf es aus dem Dampfexplosionsreaktor, um ein Brüdendampfkondensat zu erhalten; Rückgewinnen von Wärme aus der Kondensation des Brüdendampf es, um ein Fraktionierungssystem zu betreiben, wobei in dem Fraktionierungssystem Furfural aus dem

Brüdendampfkondensat zurückgewonnen wird. Ein Problem bei diesem und anderen bekannten Verfahren ist, dass bei der Rückgewinnung von Furfural Rückstände entstehen, die Polymere enthalten. Die WO2021167511 enthält keine Informationen über die Behandlung oder Entsorgung dieser Rückstände.

Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und ein entsprechendes System bereitzustellen, das das Problem der Entsorgung der Rückstände aus dem Furfural-Rückgewinnungsverfahren löst.

Diese und weitere Aufgaben werden durch die vorliegende Erfindung mittels eines Verfahrens und einer Vorrichtung gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst.

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Verarbeitung von Lignocellulose-Biomasse-Material bereitgestellt, die die thermische Behandlung des Lignocellulose-Biomasse-Materials bei erhöhtem Druck und erhöhte Temperatur und die Rückgewinnung von Furfural aus Dämpfen umfasst, die während der thermischen Behandlung aus dem Lignocellulose-Material freigesetzt werden. Das Verfahren umfasst ferner das Mischen mindestens eines Teils eines Rückstands, der aus der Rückgewinnung von Furfural erhalten wird, mit mindestens einem Teil des thermisch behandelten Lignocellulose-Biomassematerials und/oder mit Lignin enthaltenden Nebenprodukten, die aus der biochemischen Behandlung des thermisch behandelten Lignocellulose-Biomassematerials stammen.

Mit anderen Worten wird Lignocellulose-Biomasse einer Wärmebehandlung bei erhöhtem Druck und erhöhte Temperatur unterzogen, um thermisch behandelte Lignocellulose-Biomasse und Dämpfe zu erhalten, die während der Wärmebehandlung aus der Lignocellulosemasse freigesetzt werden. Die Dämpfe werden dann entweder direkt, oder nach einem oder mehreren Behandlungsschritten, z. B. Kondensation, einem Furfuralrückgewinnungsschritt unterzogen, um Furfural und

einen oder mehrere Rückstände zu gewinnen. Zum mindesten ein Teil oder auch die Gesamtheit der Rückstände wird entweder mit mindestens einem Teil oder der Gesamtheit des thermisch behandelten lignocellulosehaltigen Biomassematerials vermischt oder diesem auf andere Weise zugesetzt und/oder mit ligninhaltigen Nebenprodukten aus der biochemischen Behandlung des thermisch behandelten lignocellulosehaltigen Biomassematerials vermischt oder diesem zugesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass der Schritt der biochemischen Behandlung in dem Sinne fakultativ ist, dass er nicht notwendigerweise Teil des Verfahrens ist, wenn die Rückstände nur mit dem thermisch behandelten Lignocellulose-Biomassematerial vermischt/zugesetzt werden. Es wird ferner davon ausgegangen, dass sich die Rückstände auf Abfälle aus dem Furfuraldehyd-Gewinnungsschritt beziehen, die nach bekannten Verfahren entsorgt werden, z. B. zur Entsorgung in einer Abfallbehandlungsanlage oder dergleichen. Der Rückstand aus der Furfuraldehyd-Rückgewinnung kann eine Mischung aus organischen Kohlenhydratpolymeren enthalten.

Die thermische Behandlung kann unter Verwendung mindestens eines Druckreaktors durchgeführt werden, und das Verfahren kann ferner das Austragen des lignocellulosehaltigen Biomassematerials und des die Dämpfe enthaltenden Brüdendampfes aus dem mindestens einen Druckreaktor durch Dampfexplosionsentladung umfassen. Das Verfahren kann ferner das Abtrennen des Brüdendampfes von dem ausgetragenen, thermisch behandelten lignocellulosehaltigen Biomassematerial und das Kondensieren des Brüdendampfes umfassen, um ein Brüdendampfkondensat zu erhalten, wobei das Furfural aus den Brüden in kondensierter Form als Teil des Brüdendampfkondensats zurückgewonnen wird. Die thermische Behandlung kann ein kontinuierliches oder ein diskontinuierliches Verfahren umfassen.

Das lignocellulosehaltige Biomassematerial kann beispielsweise in Form von Holzhackschnitzeln, Rinde, Sägespänen, Stroh, Bagasse oder leeren Fruchtbündeln vorliegen.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass das Entsorgungsproblem der Rückstände aus dem Furfural-Gewinnungsverfahren durch Vermischen der Rückstände mit dem thermisch behandelten lignocellulosehaltigen Biomassematerial und/oder mit ligninhaltigen Nebenprodukten aus der biochemischen Behandlung des thermisch behandelten lignocellulosehaltigen Biomassematerials wirksam gelöst werden kann. Die Erfindung beruht ferner auf der Erkenntnis, dass der Rückstand eine Mischung aus organischen Polymeren enthält und dass diese organischen Polymere die Eigenschaften der thermisch behandelten Biomasse oder der Nebenprodukte verbessern können, wenn sie mit diesen gemischt werden. Diese Feststellung ist von besonderer Bedeutung, wenn die thermisch behandelte Biomasse oder die Nebenprodukte zur Herstellung von Pellets oder Briketts verwendet werden, da der Zusatz organischer Polymere zu Pellets oder Briketts mit verbesserter Haltbarkeit und/oder Feuchtigkeitsbeständigkeit führen kann. Außerdem haben die Rückstände einen Heizwert, der bei der Beimischung zu Brennstoffpellets oder -briketts zurückgewonnen wird.

In Ausführungsformen erfolgt die Rückgewinnung von Furfural durch Strippen und Rektifizieren in Kombination mit Dekantieren in einem oder mehreren Schritten. Der Rückstand kann als Bodenfraktion aus einem abschließenden Reinigungsschritt der Furfuralrückgewinnung gewonnen werden.

In Ausführungsformen umfasst das Verfahren ferner den Schritt der biochemischen Behandlung, der die enzymatische oder saure Hydrolyse und anschließende Fermentation des ausgetragenen thermisch behandelten Biomassematerials umfasst, wobei die Nebenprodukte als Nebenprodukte nach dem Hydrolyse- und/oder Fermentationsschritt gewonnen werden.

In Ausführungsformen umfasst das Verfahren ferner nach dem Mischen das Bilden von Pellets und/oder Briketts aus mindestens einem Teil oder der gesamten durch Mischen erhaltenen Mischung. Das Verfahren kann zusätzlich oder alternativ nach dem Mischen das Verbrennen mindestens eines Teils oder der Gesamtheit der durch das Mischen erhaltenen Mischung umfassen, um Wärme für die thermische Behandlung bereitzustellen. Das Verfahren kann zusätzlich oder alternativ nach dem Mischen das Sammeln mindestens eines Teils oder der gesamten durch das Mischen erhaltenen Mischung zur Verwendung als Brennstoff umfassen.

Das Mischen kann die Steuerung des Verhältnisses zwischen dem Rückstand und dem ausgetragenen thermisch behandelten Biomassematerial und/oder den Lignin enthaltenden Nebenprodukten umfassen, um die physikalischen Eigenschaften wie die mechanische Festigkeit und/oder die Wasserbeständigkeit des Produkts (z. B. Pellets oder Briketts) zu steuern. Es versteht sich von selbst, dass die physikalischen Eigenschaften des Endprodukts je nach verwendetem Rohstoff variieren. Durch die Steuerung des Verhältnisses zwischen dem Rückstand und dem entnommenen thermisch behandelten Biomassematerial und/oder den ligninhaltigen Nebenprodukten wird die Zugabe von Polymeren gesteuert, wodurch die physikalischen Eigenschaften variiert werden können. Insbesondere kann das Verhältnis erhöht werden (d. h. es wird mehr Rückstand zugegeben), um die mechanische Festigkeit und/oder die Wasserbeständigkeit zu verbessern.

In einigen Ausführungsformen umfasst das Verfahren auch, dass das lignocellulosehaltige Biomassematerial vor der thermischen Behandlung oder vor dem Mischen getrocknet wird, d.h. dass der Feuchtigkeitsgehalt des Biomassematerials verringert wird. Der Feuchtigkeitsgehalt kann durch mechanische Entwässerung des Biomassematerials auf einen Feuchtigkeitsgehalt im Bereich von 35-55 % reduziert werden. Optional kann das entwässerte

Biomassematerial thermisch getrocknet werden, um einen Feuchtigkeitsgehalt im Bereich von 6-25 % zu erreichen. Die mechanische Entwässerung kann eine mechanische Entwässerung mit einer Schneckenpresse umfassen. Die thermische Trocknung kann eine Trocknung der Biomasse mit einem Niedertemperatur-Bandtrockner umfassen.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein System zur Verarbeitung von Biomassematerial bereitgestellt. Das System umfasst ein Wärmebehandlungssystem, das so angeordnet ist, dass es das lignocellulosehaltige Biomassematerial bei erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur thermisch behandelt, eine Auffangvorrichtung, die mit dem Wärmebehandlungssystem verbunden ist, ein Auffangsystem, das mit dem Wärmebehandlungssystem verbunden ist, um aus dem lignocellulosehaltigen Biomassematerial freigesetzte Dämpfe aufzufangen, und ein Furfural-Rückgewinnungssystem, das direkt oder indirekt mit dem Auffangsystem verbunden ist, wobei das Furfural-Rückgewinnungssystem so angeordnet ist, dass es die Dämpfe verarbeitet, um Furfural und einen oder mehrere Rückstände zu erhalten. Das System umfasst ferner eine Mischvorrichtung, die mit dem Wärmebehandlungssystem und dem Furfural-Rückgewinnungssystem verbunden ist, wobei die Mischvorrichtung so angeordnet ist, dass sie mindestens einen Teil oder die Gesamtheit der Rückstände mit mindestens einem Teil oder der Gesamtheit des thermisch behandelten Lignocellulose-Biomassematerials mischt. Alternativ umfasst das System ein biochemisches Behandlungssystem, das mit dem thermischen Behandlungssystem verbunden ist, um biochemisch behandeltes Biomassematerial und Lignin enthaltende Nebenprodukte bereitzustellen, und eine Mischvorrichtung, die mit dem biochemischen Behandlungssystem und dem Furfural-Rückgewinnungssystem verbunden ist, wobei die Mischvorrichtung so angeordnet ist, dass sie mindestens einen Teil oder die Gesamtheit der Rückstände mit mindestens einem Teil oder der Gesamtheit der Lignin enthaltenden Nebenprodukte mischt.

In Ausführungsformen des Systems umfasst das Furfural-Rückgewinnungssystem mindestens eine Stripp- und Rektifikationsvorrichtung und mindestens eine Dekantierzvorrichtung. Das Furfuraldehyd-Rückgewinnungssystem kann ferner eine Endreinigungsstufe umfassen, aus der der Rückstand als Bodenfraktion gewonnen wird.

In einigen Ausführungsformen des Systems umfasst das biochemische Behandlungssystem mindestens eine enzymatische oder saure Hydrolysestufe und mindestens eine anschließende Fermentationsstufe, wobei die Nebenprodukte als Nebenprodukte der Hydrolyse und/oder der Fermentationsstufe gewonnen werden.

In Ausführungsformen des Systems ist mindestens eine Pelletier-/Brikettierzvorrichtung mit der Mischvorrichtung verbunden und so angeordnet, dass sie Brennstoffpellets/-briketts auf der Grundlage der von der Mischvorrichtung erhaltenen Mischung herstellt. Pelletier-/Brikettierzvorrichtungen sind in der Technik bekannt und werden hier nicht weiter erläutert.

In Ausführungsformen des Systems umfasst das System ferner eine Verbrennungsvorrichtung, die mit der Mischvorrichtung verbunden ist, um zumindest einen Teil des von der Mischvorrichtung erhaltenen Gemischs zu verbrennen, um Wärme/Dampf für das Wärmebehandlungssystem und/oder für andere Vorrichtungen oder Schritte des Verfahrens und/oder zur externen Verwendung bereitzustellen.

In Ausführungsformen des Systems umfasst das System ferner Speichermittel, die mit der Mischvorrichtung verbunden sind, um zumindest einen Teil des von der Mischvorrichtung erhaltenen Gemischs zu sammeln, um es entweder im System oder an einem anderen Ort als Brennstoff zu verwenden.

In Ausführungsformen des Systems umfasst das Wärmebehandlungssystem

- mindestens einen Druckreaktor, der so angeordnet ist, dass er das Lignocellulose-Biomassematerial aufnimmt, wobei der mindestens eine Reaktor mit Mitteln zum Zuführen von Dampf (wie z.B. Dampfeinspritzdüsen) in den mindestens einen Reaktor zur Wärmebehandlung des Biomassematerials bei erhöhtem Druck und erhöhte Temperatur versehen ist, und
- mindestens eine Dampfexplosions-Austragsvorrichtung, die so angeordnet ist, dass sie das Biomassematerial austrägt und Dampf aus dem mindestens einen Reaktor ausbläst, wobei der ausgetragene Dampf (Wasser)Dampf und aus dem Biomassematerial freigesetzte Dämpfe umfasst.

Darüber hinaus kann die Auffangvorrichtung eine Trennvorrichtung umfassen, die mit der mindestens einen Dampfauslassvorrichtung verbunden ist, um den Treibdampf von dem ausgetragenen thermisch behandelten Biomassematerial zu trennen. Die Trennvorrichtung kann einen Zyklon umfassen.

In Ausführungsformen umfasst das System ferner mindestens eine Kondensationsvorrichtung, die mit der Trennvorrichtung verbunden ist, um ein Treibdampfkondensat bereitzustellen, wobei das Furfural-Rückgewinnungssystem mit der mindestens einen Kondensationsvorrichtung verbunden ist, um Furfural aus den Dämpfen in kondensierter Form als Teil des Treibdampfkondensats rückzugewinnen.

In einigen Ausführungsformen wird der Treibdampf ohne vorherige Kondensation von der Trennvorrichtung zum Furfural-Rückgewinnungssystem geleitet.

In einigen Ausführungsformen umfasst das System ferner eine Trocknungsanordnung, die mindestens eine mechanische Entwässerungsvorrichtung und/oder mindestens eine thermische Trocknungsvorrichtung umfasst. Die Trocknungsvorrichtung kann so angeordnet sein, dass sie den Feuchtigkeitsgehalt der

Biomasse reduziert, d. h. die Biomasse vor dem thermischen Behandlungssystem trocknet, oder sie kann alternativ stromabwärts des thermischen Behandlungssystems und stromaufwärts der Mischvorrichtung angeordnet sein. In Ausführungsformen, die ein biochemicales Behandlungssystem umfassen, kann eine Trocknungsanordnung, die mindestens eine mechanische Entwässerungsvorrichtung und/oder mindestens eine thermische Trocknungsvorrichtung umfasst, angeordnet sein, um den Feuchtigkeitsgehalt der Nebenprodukte zu trocknen oder zu reduzieren, bevor sie dem Mischer zugeführt werden. Die mindestens eine mechanische Entwässerungsvorrichtung, die eine Schneckenpresse umfassen kann, kann so ausgelegt sein, dass das Biomassematerial oder die Nebenprodukte auf einen Feuchtigkeitsgehalt im Bereich von 35 bis 55 % entwässert werden. Die thermische Trocknungsvorrichtung, die einen Niedertemperatur-Bandtrockner umfassen kann, kann so konfiguriert sein, dass sie das Biomassematerial oder die Nebenprodukte thermisch trocknet, um einen Feuchtigkeitsgehalt im Bereich von 6 bis 25 % zu erreichen.

In Ausführungsformen umfasst das System ferner zusätzliche Mittel zum Sammeln von Dämpfen aus Entladungen an dem mindestens einen Reaktor, wobei die zusätzlichen Mittel zum Sammeln von Dämpfen entweder direkt oder über eine Kondensationsvorrichtung mit dem Furfural-Rückgewinnungssystem verbunden sind, um die gesammelten Dämpfe dem Furfural-Rückgewinnungssystem zuzuführen. Folglich wird Furfural sowohl aus dem Injektionsdampf als auch aus dem Dampf, der aus der Entladung des mindestens einen Reaktors stammt, zurückgewonnen.

Die Merkmale der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen können in jeder praktisch durchführbaren Weise kombiniert werden, um Ausführungsformen mit Kombinationen dieser Merkmale zu bilden. Ferner können alle Merkmale und Vorteile der vorstehend unter Bezugnahme auf den ersten Aspekt der

Erfindung beschriebenen Ausführungsformen in entsprechenden Ausführungsformen des Systems gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung verwendet werden und umgekehrt.

Die vorstehend erörterten und weitere Aspekte der vorliegenden Erfindung werden nun anhand der beigefügten Zeichnungen, die derzeit bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung zeigen, näher beschrieben, wobei Fig. 1 ein Flussdiagramm zeigt, das eine Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung veranschaulicht:

Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm, das eine Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung veranschaulicht;

Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm, das eine weitere Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung zeigt;

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Systems gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung; und

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform des Systems gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung.

Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm, das eine Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung veranschaulicht. Das Verfahren umfasst die thermische Behandlung des lignocellulosehaltigen Biomassematerials bei erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur, beispielsweise in einem unter Druck stehenden Reaktorbehälter, wie nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 3-4 erläutert wird. Optional umfasst das Verfahren die Reduzierung des Feuchtigkeitsgehalts der Biomasse vor der thermischen Behandlung durch mechanische Entwässerung der Biomasse 8a (z. B. mit einer Schneckenpresse) und/oder thermische Trocknung 8b der Biomasse (z. B. mit einem Niedertemperatur-Bandtrockner). Die thermisch behandelte

Biomasse wird zusammen mit dem Brüdendampf über den Dampfexplosionsabzug 9 abgeführt. Der Brüdendampf wird anschließend von der ausgetragenen thermisch behandelten Lignocellulose-Biomasse getrennt, z. B. mit Hilfe eines Zylkons. Der Treibdampf wird kondensiert 10, um ein Treibdampfkondensat zu bilden, das anschließend einem Furfural-Rückgewinnungsverfahren 2 unterzogen wird, um Furfural und einen Rückstand zu erhalten, der eine Mischung organischer Polymere enthält. Ausführungsformen des Furfuralrückgewinnungsverfahrens werden nachfolgend unter Bezugnahme auf Abbildung 3-4 beschrieben. Optional kann der Feuchtigkeitsgehalt des thermisch behandelten Lignocellulose-Biomasse-Materials durch mechanische Entwässerung 8a' (z. B. mit einer Schneckenpresse) und/oder thermische Trocknung 8b' (z. B. mit einem Niedertemperatur-Bandtrockner) reduziert werden. Zumindest ein Teil des Rückstands, der eine Mischung aus Polymeren und zumindest einen Teil des thermisch behandelten lignocellulosehaltigen Biomassematerials enthält, wird gemischt 3. Die in Schritt 3 erhaltene Mischung kann für verschiedene Zwecke verwendet werden. Beispielsweise kann zumindest ein Teil des Gemisches zur Herstellung von Pellets/Briketts 5 verwendet werden. Alternativ oder zusätzlich kann zumindest ein Teil des Gemisches verbrannt 6 werden, um Wärme/Dampf für den Wärmebehandlungsschritt 1 und/oder andere Verfahrensschritte bereitzustellen. Alternativ oder zusätzlich kann zumindest ein Teil des Gemisches zur Verwendung als Brennstoff entweder in der Wärmebehandlungsanlage oder an einem anderen Ort gesammelt 7 werden.

Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm, das eine weitere Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung veranschaulicht. Diese Ausführungsform entspricht der Ausführungsform nach Figur 1 insoweit, als sie die entsprechenden Schritte 1, 1a, 2, 9, 10 und optionale Schritte

5, 6, 7, 8a umfasst. Die Ausführungsform unterscheidet sich jedoch dadurch, dass

- der Biomasse vor der mechanischen Entwässerung 8a optional ein saurer Katalysator, z. B. Schwefelsäure, zugesetzt wird 11.
- die thermisch behandelte Biomasse aus Schritt 9 einem sauren oder enzymatischen Hydrolyseschritt 4a zur Gewinnung vergärbarer Zucker und einem anschließenden Fermentationsschritt 4b zur Gewinnung von Ethanol unterzogen wird. Aus dem Hydrolyseschritt 4a und/oder dem Fermentationsschritt 4b wird ein ligninhaltiges Nebenprodukt gewonnen.
- Mischschritt 3 umfasst das Mischen mindestens eines Teils des Rückstands, der ein Polymergemisch aus Schritt 2 umfasst, mit dem Nebenprodukt aus Schritt 4a und/oder 4b.
- Optional kann zumindest ein Teil oder das gesamte Nebenprodukt mechanisch entwässert (12a) und/oder thermisch getrocknet (12b) werden, bevor es mit dem polymeren Rückstand (3) gemischt wird.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Systems gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung. Das System umfasst eine mechanische Entwässerungsvorrichtung, bei der es sich um eine Schneckenpresse 107a handelt, die so konfiguriert ist, dass das lignocellulosehaltige Biomassematerial auf einen Feuchtigkeitsgehalt im Bereich von 35 bis 55 % entwässert wird. Der Schneckenpresse ist ein Niedertemperatur-Bandtrockner nachgeschaltet, der das Biomassematerial thermisch auf einen Feuchtigkeitsgehalt im Bereich von 6-25 % trocknet. Das entwässerte und getrocknete lignocellulosehaltige Biomassematerial wird in einem Behälter oder Container gesammelt und von dort über eine Förderschnecke 107c in eine Wärmebehandlungsanlage 101 gefördert. Das

Wärmebehandlungssystem besteht aus einem Druckreaktor 101a. Die Ppropfenschnecke verdichtet die Biomasse zu einem Ppropfen, so dass der hohe Druck im thermischen Reaktor 101a vom Atmosphärendruck isoliert ist. Der thermische Reaktor 101a ist mit Mitteln 101b zum Einleiten von Dampf in den mindestens einen Reaktor zur thermischen Behandlung des lignocellulosehaltigen Biomassematerials bei erhöhtem Druck und erhöhte Temperatur und mit mindestens einer Dampfexplosionsentladungsvorrichtung 101c versehen, die so angeordnet ist, dass sie die thermisch behandelte Biomasse entlädt und Dampf (bestehend aus Dampf und Dämpfen, die während der thermischen Behandlung aus dem Biomassematerial freigesetzt werden) ausbläst. Eine Auffangvorrichtung in Form eines Abscheiders (Zyklons) 102 ist mit der Dampfauslassvorrichtung 101c verbunden, um den Treibdampf vom lignocellulosehaltigen Biomassematerial zu trennen. Eine Kondensationsvorrichtung 108 ist mit dem Abscheider 102 verbunden, um den Treibdampf zu kondensieren.

An die Kondensationseinrichtung 108 ist ein Furfuralrückgewinnungssystem 103 zur Aufnahme des Brüdenkondensats angeschlossen. Das Furfural-Rückgewinnungssystem ist schematisch in Form einer vereinfachten Ausführungsform dargestellt, die eine Destillationskolonne 103a, eine Dehydrierungskolonne 103b, einen gravimetrischen Dekanter 103c, Rückflusskondensationseinrichtungen 109a, 109c und eine Produktkondensationseinrichtung 109b umfasst. Das Treibdampfkondensat wird der Destillationskolonne 103a zugeführt, in der das Furfural rektifiziert und als Kopfdampf der Rückflusskondensationsvorrichtung 109a entnommen wird. Das Rückflusskondensat aus der Rückflusskondensation 109a wird einem gravimetrischen Dekanter 103c zugeführt, der mit der Entwässerungskolonne 103b verbunden ist, um dieser eine Furfuralphase (schwere Phase) zuzuführen. Die Wasserphase, die etwas Furfural enthält, wird als Rücklauf in den oberen Teil

der Destillationskolonne 103a zurückgeführt. Im unteren Teil der Destillationskolonne 103a befindet sich ein Abtriebsteil. Die Strippstrecke wird mit Niederdruckdampf beheizt. Aus dem unteren Teil der Dehydrierungskolonne 103b wird Furfural zu einer Produktkondensationsvorrichtung 109b abgezogen. Die Kolonne 103b hat eine kurze Strippstrecke im Sumpf. Als Sumpffaktion aus Kolonne 103b wird ein Rückstand gewonnen, der verschiedene von Furfural abgeleitete Kondensationsprodukte einschließlich einer Mischung organischer Polymere enthält. Die Kolonne 103b kann auch als Endreinigungsstufe bezeichnet werden. Der Rückfluss aus der Kolonne 103b wird über die Rückflusskondensationsvorrichtung 109c ebenfalls dem Dekanter 103c zugeführt.

In anderen Ausführungsformen kann das Furfural-Rückgewinnungssystem 103 weitere Einrichtungen umfassen. Beispielsweise kann das Furfural-Rückgewinnungssystem mit Erhitzern ausgestattet sein, um die Kolonnen mit Niederdruckdampf zu versorgen, und ferner mit einer Wärmerückgewinnung aus den Rückflusskondensationsvorrichtungen, wie in WO2021167511 beschrieben, die hiermit durch Bezugnahme einbezogen wird.

Das System umfasst ferner eine Mischvorrichtung (104a), die mit dem Separator (102) und der Kolonne (103b) verbunden ist, um thermisch behandelte Biomasse und Rückstände, die Polymere enthalten, aufzunehmen. Die Mischvorrichtung ist so angeordnet, dass sie die Rückstände mit dem thermisch behandelten Lignocellulose-Biomassematerial mischt. Die Mischung aus der Mischvorrichtung 104a wird einer Pelletier-/Brikettiervorrichtung 106 zugeführt, um aus der Mischung Pellets/Briketts herzustellen.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform des Systems gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung. Diese Ausführungsform entspricht der Ausführungsform nach Fig. 3 insoweit, als sie entsprechende

Vorrichtungen/Systeme 101a-c, 103, 107c, 108 umfasst. Die Ausführungsform unterscheidet sich jedoch dadurch, dass

- ein saurer Hydrolysekatalysator, z.B. Schwefelsäure, z.B. mittels einer Einspritzvorrichtung 107d stromaufwärts der Schnecke 107c der lignocellulosehaltigen Biomasse zugemischt werden kann,
- die Biomasse mit der Schnecke 107c entwässert werden kann,
- die thermisch behandelte Biomasse einem enzymatischen oder sauren Hydrolysereaktor 105a und einer anschließenden Fermentationsstufe 105b zugeführt wird, wobei ligninhaltige Nebenprodukte als Sumpffraktion aus der Fermentationsstufe gewonnen werden,
- die Mischvorrichtung mit der Fermentationsstufe und der Kolonne 103b verbunden ist, um die Lignin enthaltenden Nebenprodukte und die Polymere enthaltenden Rückstände aufzunehmen. Die Mischvorrichtung ist so angeordnet, dass die Rückstände mit den Nebenprodukten aus der Fermentationsstufe gemischt werden, um eine Mischung zu erzeugen, die als Brennstoff verwendet werden kann. Der Brennstoff kann für eine spätere Verwendung gesammelt oder verbrannt werden, z. B. zur Erzeugung von Wärme/Dampf für den Druckreaktor, und
- optional kann ein Teil oder die gesamte mit Lignin angereicherte Bodenfraktion aus 105b mechanisch entwässert werden, z.B. mit einer Schneckenpresse 107e und/oder einem thermischen Trockner 107f, bevor sie mit organischen Polymeren im Mischer 104b gemischt wird.

In anderen Ausführungsformen können die ligninhaltigen Nebenprodukte zusätzlich oder alternativ aus der Hydrolysestufe 105a gewonnen werden.

Typische Betriebsbedingungen für die vorstehend unter Bezugnahme auf die Figuren 1-4 beschriebenen Ausführungsformen sind die folgenden:

- Temperatur im Reaktor: 140-225°C
- Druck: zugehöriger Druck 2-30 bar(g)
- Verweilzeit: 1 Minute bis 3 Stunden, vorzugsweise 3-20 Minuten.

Obwohl nicht ausdrücklich dargestellt oder beschrieben, versteht es sich von selbst, dass die in den Abbildungen 3-4 dargestellten Systeme Zuführeinrichtungen wie Zuführschnecken, Pumpen oder Ventile enthalten, um die Ströme von Biomassematerial, Dampf usw. zwischen den dargestellten Vorrichtungen zu fördern und zu steuern.

Es wird ferner darauf hingewiesen, dass die Vorrichtungen, die Bestandteil der beschriebenen Ausführungsformen des Systems sind und in den Ausführungsformen des Verfahrens verwendet werden (wie z. B. Schneckenpressen, Trockner, Druckreaktoren, Kondensationsvorrichtungen, Destillationskolonnen, Entwässerungskolonnen, Dekanter, Pelletierzvorrichtungen, Zyklone, Dampfexplosionsentgasungsvorrichtungen, Hydrolysereaktoren, Fermentationsgefäß, Mischer usw.), alle in der Technik gut bekannt sind und daher hier nicht weiter beschrieben werden.

Die obige Beschreibung und die beigefügten Zeichnungen sind als nicht einschränkende Beispiele der Erfindung zu verstehen. Der Fachmann erkennt, dass im Rahmen der Erfindung verschiedene Änderungen und Modifikationen vorgenommen werden können. Beispielsweise kann das thermische Behandlungssystem einen anderen Reaktortyp umfassen, der Trocknungsanordnung können eine oder mehrere Waschstufen vorgeschaltet sein, das Furfural-Rückgewinnungssystem kann weitere Stufen umfassen, und die Polymer enthaltenden Rückstände müssen nicht

notwendigerweise aus der letzten Reinigungsstufe des Furfural-Rückgewinnungssystems gewonnen werden.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Verarbeitung von lignocellulosecellhaltigem Biomassematerial, umfassend
  - die Thermische Behandlung (1) des lignocellulosehaltigen Biomassematerials bei erhöhtem Druck und Temperatur;
  - die Gewinnung von Furfural (2) aus Dämpfen, die während der thermischen Behandlung (1) aus dem Lignocellulosematerial freigesetzt werden;
  - das Mischen (3) mindestens eines Teils eines Rückstands, der aus dem rückgewonnenen Furfural (2) erhalten wird, mit mindestens einem Teil des thermisch behandelten lignocellulosehaltigen Biomassematerials und/oder mit Nebenprodukten, die Lignin umfassen, das aus der biochemischen Behandlung (4a, 4b) des thermisch behandelten lignozellulosehaltigen Biomassematerials erhalten wird, wobei die Gewinnung von Furfural (2) Strippen und Rektifizieren in Kombination mit Dekantieren in einem oder mehreren Schritten umfasst, und wobei der Rückstand als Bodenfraktion aus einem abschließenden Reinigungsschritt des rückgewonnenen Furfurals (2) erhalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Rückstand ein Gemisch aus von organischen Kohlenhydraten abgeleiteten Polymeren umfasst.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner die biochemische Behandlung umfasst, die eine enzymatische oder saure Hydrolyse (4a) und eine anschließende Fermentation (4b) des entladenen, thermisch behandelten Biomassematerials umfasst, wobei die Nebenprodukte als Nebenprodukte nach der Hydrolyse- und/oder dem Fermentationsschritt erhalten werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach dem Mischen (3) aus mindestens einem Teil der durch das Mischen erhaltenen Mischung Pellets und/oder Briketts (5) gebildet werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach dem Mischen (3) zumindest ein Teil der durch das Mischen erhaltenen Mischung verbrannt (6) wird, um der thermischen Behandlung Wärme zuzuführen.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach dem Mischen (3) mindestens ein Teil des durch das Mischen erhaltenen Gemisches zur Verwendung als Brennstoff gesammelt (7) wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Mischen (3) das Steuern des Verhältnisses zwischen dem Rückstand und dem ausgetragenen thermisch behandelten Biomassematerial und/oder den Lignin enthaltenden Nebenprodukten umfasst, um die physikalischen Eigenschaften wie die mechanische Festigkeit und/oder die Wasserbeständigkeit zu steuern.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei vor der thermischen Behandlung (1) oder vor dem Mischen (3) der Feuchtigkeitsgehalt (8a, 8b, 8a', 8b') des lignocellulosehaltigen Biomassematerials verringert wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei vor dem Mischen (3) der Feuchtigkeitsgehalt (12a, 12b) der Nebenprodukte reduziert wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die thermische Behandlung (1) in mindestens einem Druckreaktor durchgeführt wird, wobei das Verfahren ferner umfasst:
  - Austragen (1a) des lignocellulosehaltigen Biomassematerials und des die Dämpfe enthaltenden Treibdampfes aus dem mindestens einen Druckreaktor durch Dampfexplosionsaustrag.

11. Verfahren nach Anspruch 10, ferner umfassend:

- das Abtrennen (9) des Treibdampfes von dem ausgetragenen thermisch behandelten lignocellulosehaltigen Biomassematerial, und
- Kondensieren (10) des Treibdampfes, um ein Treibdampfkondensat zu erhalten, wobei das Furfural aus dem Treibdampfkondensat zurückgewonnen wird.

12. System zur Verarbeitung von lignocellulosehaltigen Biomasse-Material, umfassend

- ein Wärmebehandlungssystem (101), das so angeordnet ist, dass es das lignocellulosehaltige Biomassematerial bei erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur thermisch behandelt;
- Auffangmittel (102), die mit dem Wärmebehandlungssystem verbunden sind, um aus dem Lignocellulose-Biomasse-Material freigesetzte Dämpfe aufzufangen;
- ein Furfural-Rückgewinnungssystem (103), das direkt oder indirekt mit dem Sammelmittel (102) verbunden ist, wobei das Furfural-Trennungssystem so angeordnet ist, dass es die Dämpfe verarbeitet, um Furfural und einen oder mehrere Rückstände zu erhalten; wobei das System zur Verarbeitung von Lignocellulose-Biomasse-Material ferner umfasst
- eine Mischvorrichtung (104a; 104b), die mit dem thermischen Behandlungssystem (101) und dem Furfural-Rückgewinnungssystem (103) verbunden ist, wobei die Mischvorrichtung so angeordnet ist, dass sie mindestens einen Teil der Rückstände mit mindestens einem Teil des thermisch behandelten Lignocellulose-Biomassematerials mischt, oder

- ein biochemisches Behandlungssystem (105a, 105b), das mit dem thermischen Behandlungssystem verbunden ist, um biochemisch behandeltes Biomassematerial und Lignin umfassende Nebenprodukte zu erhalten, und eine Mischvorrichtung (104b), die mit dem biochemischen Behandlungssystem und dem Furfural-Rückgewinnungssystem verbunden ist, wobei die Mischvorrichtung so angeordnet ist, dass sie wenigstens einen Teil der Rückstände mit wenigstens einem Teil der Lignin umfassenden Nebenprodukte mischt, wobei das Furfural-Rückgewinnungssystem so angeordnet ist, dass es wenigstens einen Teil der Rückstände mit wenigstens einem Teil der Lignin umfassenden Nebenprodukte mischt.
- wobei das Furfuralrückgewinnungssystem (103) mindestens eine Stripp- und Rektifikationsvorrichtung (103a), mindestens eine Dekantierzvorrichtung (103c) und eine Endreinigungsstufe (103b) umfasst, wobei der Rückstand als Bodenfraktion aus der Endreinigungsstufe erhalten wird.
13. System nach Anspruch 12, das ferner eine Trocknungsanordnung (107e, 107f) umfasst, die angeordnet ist, um die Nebenprodukte aus dem biochemischen Behandlungssystem (105a, 105b) mechanisch zu entwässern und/oder thermisch zu trocknen, bevor sie mit den Rückständen in der Mischvorrichtung (104b) gemischt werden.
  14. System nach einem der Ansprüche 12 bis 13, wobei das biochemische Aufbereitungssystem mindestens eine enzymatische oder saure Hydrolysestufe (105a) und eine nachfolgende Fermentationsstufe (105b) umfasst, wobei die Nebenprodukte als Nebenprodukte nach der Hydrolysestufe und/oder der Fermentationsstufe erhalten werden.
  15. System nach einem der Ansprüche 12 bis 14, das ferner mindestens eine Pelletierzvorrichtung (106) umfasst, die mit der Mischvorrichtung (103a; 103b) verbunden und so angeordnet ist, dass sie Brennstoffpellets auf der

Grundlage der von der Mischvorrichtung erhaltenen Mischung herstellt.

16. System nach einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei das Wärmebehandlungssystem (101) umfasst:
  - mindestens einen Druckreaktor (101a), der so angeordnet ist, dass er das Lignocellulose-Biomassematerial aufnimmt, wobei der mindestens eine Reaktor mit Mitteln (101b) zum Einleiten von Dampf in den mindestens einen Reaktor versehen ist, um das Biomassematerial bei erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur thermisch zu behandeln, und
  - mindestens eine Dampfexplosions-Austragsvorrichtung (101c), die so angeordnet ist, dass sie das Biomassematerial austrägt und Dampf aus dem mindestens einen unter Druck stehenden Reaktor ausbläst, wobei der ausgetragene Dampf (Wasser)Dampf und aus dem Biomassematerial freigesetzte Dämpfe umfasst; undwobei das Sammelmittel (102) ein Trennmittel umfasst, das mit der mindestens einen Dampfexplosionsentladungsvorrichtung (101c) verbunden ist, um den Treibdampf von dem entladenen thermisch behandelten Biomassematerial zu trennen.

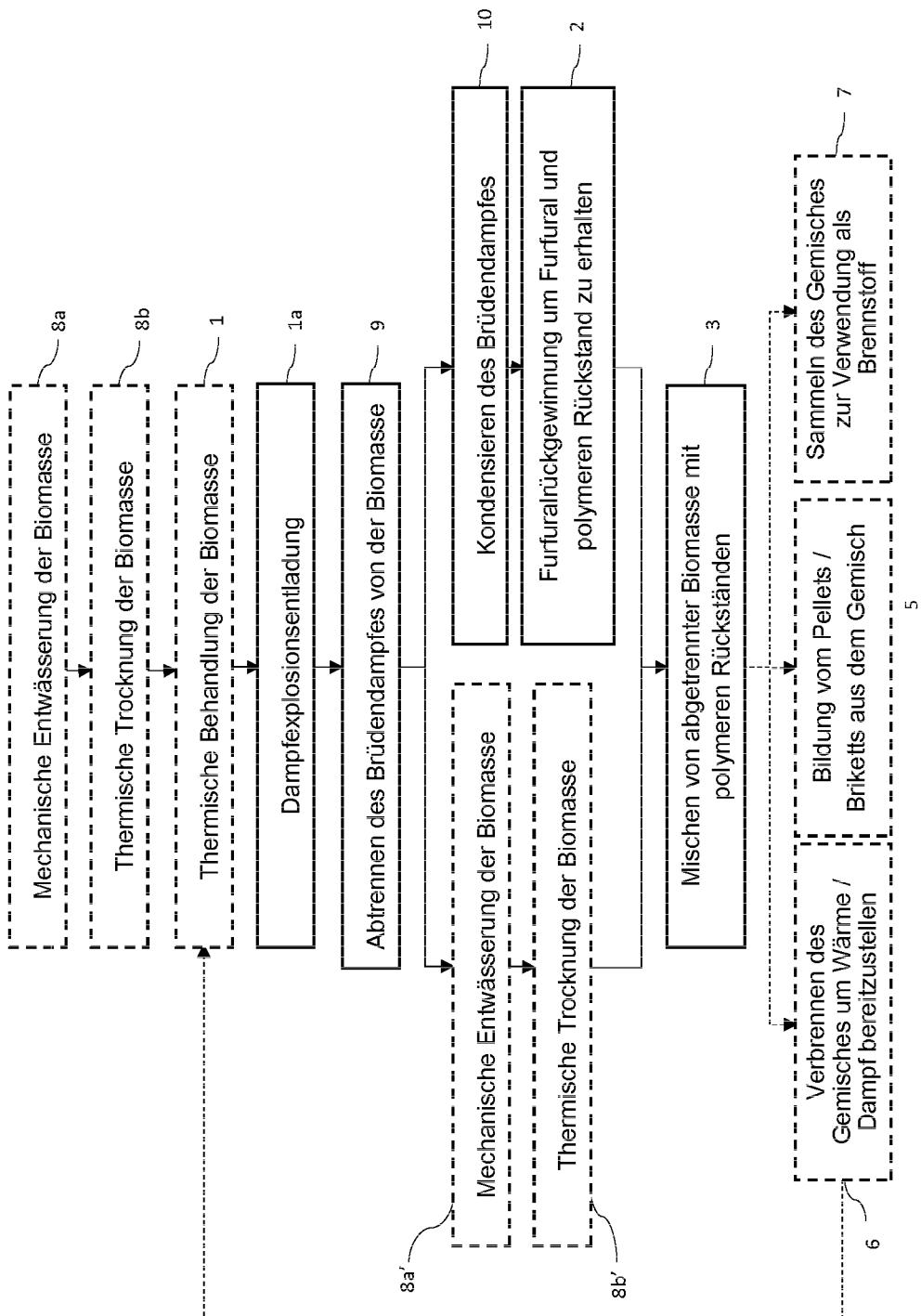


Fig. 1

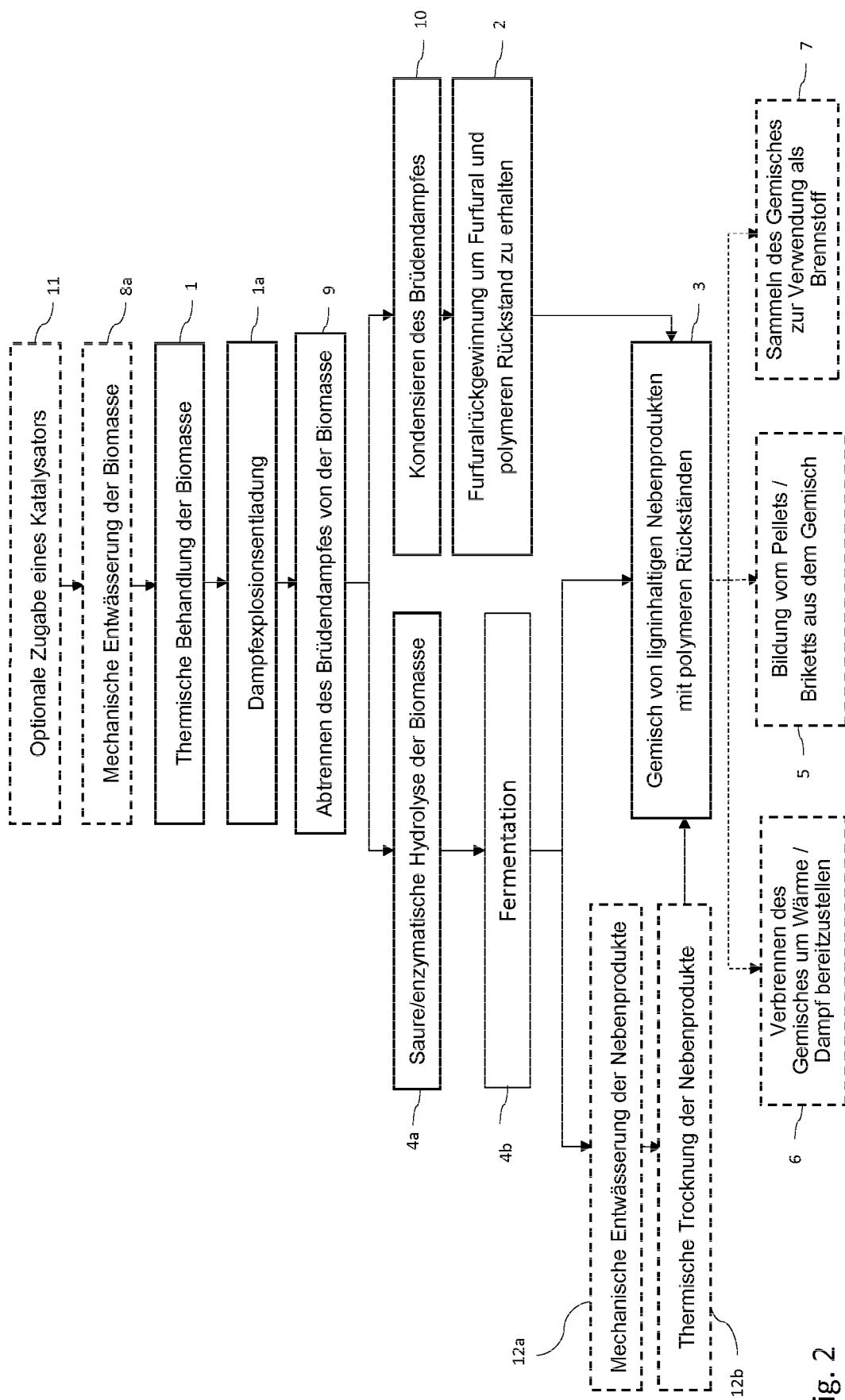
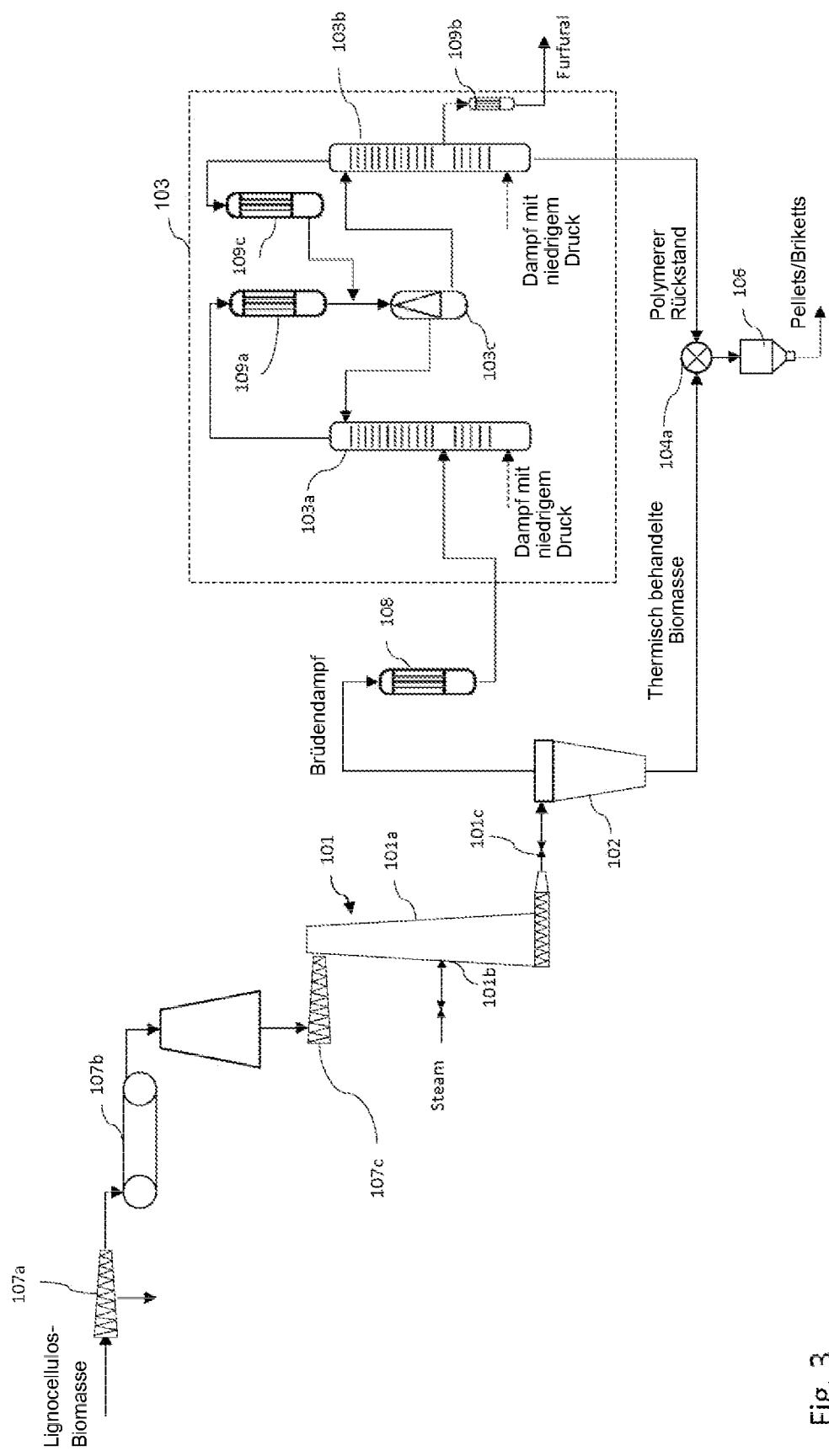


Fig. 2



၁၁၁

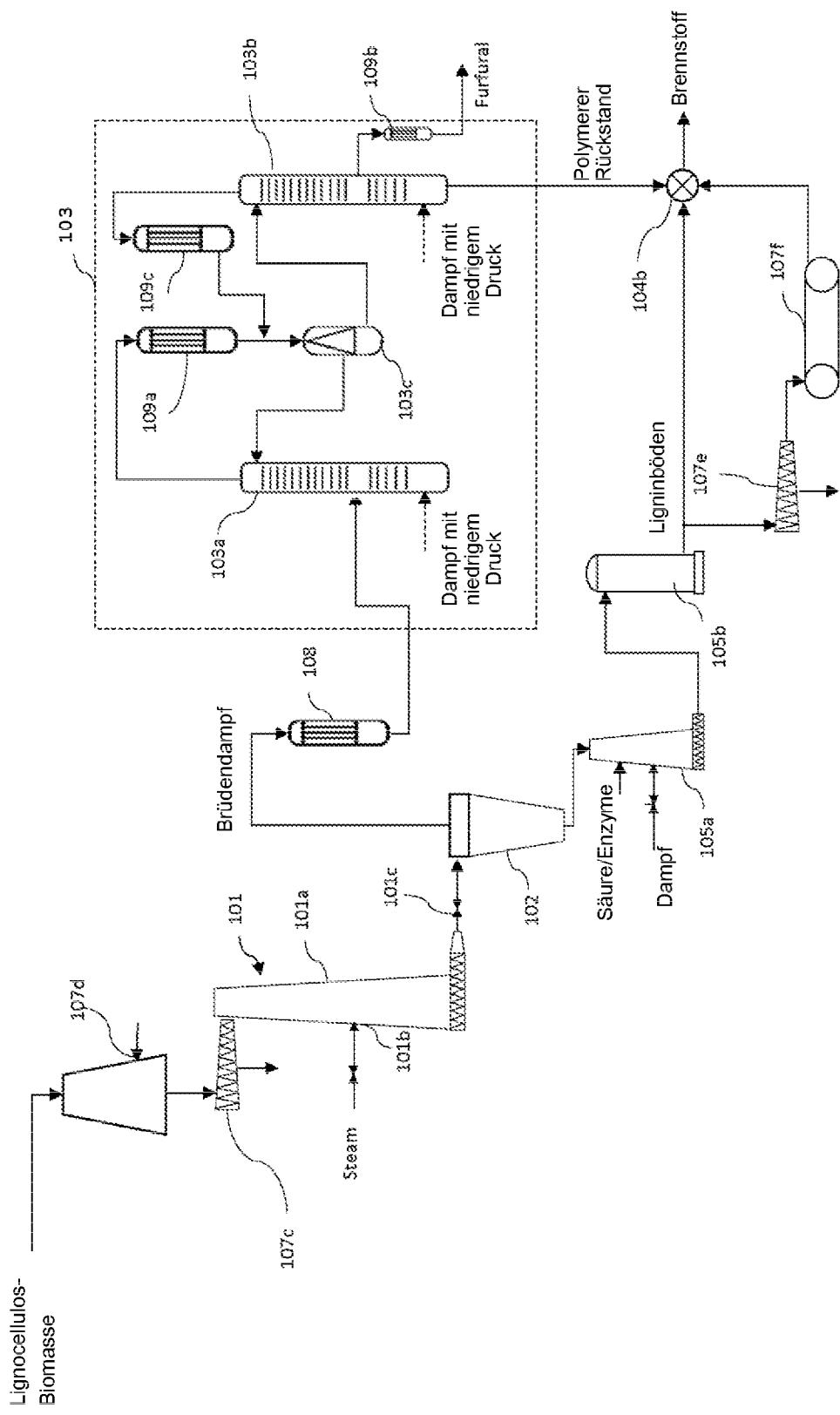


Fig. 4