

(19)



(11)

**EP 4 139 519 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**06.03.2024 Patentblatt 2024/10**

(21) Anmeldenummer: **22700600.4**

(22) Anmeldetag: **11.01.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**D21B 1/02** (2006.01)      **D21J 3/00** (2006.01)  
**B27N 1/00** (2006.01)      **B27N 3/00** (2006.01)  
**B27N 3/02** (2006.01)      **B27N 3/04** (2006.01)  
**B27N 3/18** (2006.01)      **B27N 5/00** (2006.01)  
**B27N 5/02** (2006.01)      **B65D 1/02** (2006.01)  
**A47G 19/00** (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**B27N 1/00; B27N 3/002; B27N 3/007; B27N 3/02;**  
**B27N 3/04; B27N 3/18; B27N 5/00; B27N 5/02;**  
**B65D 1/34; D21B 1/02; D21B 1/021; D21J 3/00**

(86) Internationale Anmeldenummer:

**PCT/EP2022/050452**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

**WO 2022/148883 (14.07.2022 Gazette 2022/28)**

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES FORMSTABILEN GEGENSTANDES AUS NACHWACHSENDER BIOMASSE**

METHOD FOR MANUFACTURING A DIMENSIONALLY STABLE OBJECT FROM RENEWABLE BIOMASS

PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN OBJET INDÉFORMABLE À PARTIR DE BIOMASSE RENOUVELABLE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **11.01.2021 DE 102021100288**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**01.03.2023 Patentblatt 2023/09**

(73) Patentinhaber: **Gehr, Volker**

**25348 Glückstadt (DE)**

(72) Erfinder: **Gehr, Volker**  
**25348 Glückstadt (DE)**

(74) Vertreter: **Stork Bamberger Patentanwälte**

**PartmbB**  
**Meiendorfer Strasse 89**  
**22145 Hamburg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

**EP-A2- 0 373 726      GB-A- 997 798**  
**US-A1- 2011 268 652**

**EP 4 139 519 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes, vorzugsweise eines Behälters, aus nachwachsender Biomasse.

**[0002]** Verfahren zur Herstellung formstabiler Gegenstände, insbesondere Behälter, sowie formstabile Gegenstände aus nachwachsenden Rohstoffen sind seit vielen Jahren aus dem Stand der Technik bekannt und werden vor allem im Bereich der Einwegverpackungen oder Einweggegenstände eingesetzt. Derartige Einwegverpackungen oder Einweggegenstände werden in der Regel zum Aufbewahren, Transportieren oder Verpacken von Lebensmitteln und sonstigen Konsumgütern eingesetzt. Weiter finden sich Verfahren zur Herstellung formstabiler Gegenstände oder formstabile Gegenstände aus nachwachsenden Rohstoffen mit einem Verwendungszweck außerhalb des Verpackungsbereichs, insbesondere in der Lebens- oder Konsumgüterindustrie. Die formstabilen Gegenstände können dabei grundsätzlich eine Vielzahl an Gegenständen ersetzen, die derzeit aus Kunststoffen oder anderen dauerhaften Materialien hergestellt werden. Derartige formstabile Gegenstände werden sowohl vom Endkunden als auch von den herstellenden Unternehmen nachgefragt, um einerseits Gegenstände auf nachhaltiger Basis zu verwenden oder um Produkte in Gegenständen auf nachhaltiger Basis bereitzustellen.

**[0003]** Bei den Verpackungsmaterialien im Bereich der Lebensmittelindustrie besteht der überwiegende Anteil der eingesetzten Verpackungs- und Transportmaterialien auf Basis von Kunststoffen, wobei davon der größte Anteil auf Einwegverpackungen entfällt. In den vergangenen Jahren sind vermehrt Bestrebungen aufgekommen, den Anteil an recycelten oder biologisch abbaubaren Kunststoffen sukzessive zu erhöhen, obwohl weiterhin der Anteil an Kunststoffen aus fossilen Rohstoffen deutlich dominiert. Um den Anteil an fossilen Rohstoffen zu reduzieren, wird branchenübergreifend versucht, einen höheren Anteil an holz- bzw. papierbasierten Rohstoffen als Ausgangsprodukte für die herzustellenden Produkte sowie für die Verpackungs- oder Transportgegenstände einzusetzen. Neben den überwiegend positiven Umweltfaktoren der auf Basis nachwachsender Biomasse hergestellten Gegenstände, was beispielsweise auf eine Reduzierung der entstehenden Treibhausgase und der Restmüllvermeidung zurückzuführen ist, weisen die bekannten formstabilen Gegenstände auf Basis nachwachsender Biomasse (respektive holz- oder papierbasierte Verpackungs- oder Transportgegenstände) auch einige fundamentale Nachteile gegenüber den bekannten Produkten aus Kunststoff, Metallen, Glas etc. auf.

**[0004]** Die bekannten formstabilen Gegenstände auf Basis nachwachsender Biomasse (respektive holz- oder papierbasierte Verpackungs- oder Transportgegenstände) sind regelmäßig deutlich in der Dauerhaftigkeit gegenüber den "herkömmlichen" Produkten unterlegen; insbesondere weisen die bekannten formstabilen Ge-

genstände auf Basis nachwachsender Biomasse (respektive holz- oder papierbasierte Verpackungs- oder Transportgegenstände) unter anderem aufgrund hygroskopischer Materialeigenschaften der eingesetzten Rohstoffe ein nachteiliges Verhalten im Zusammenhang mit Feuchtigkeit auf.

**[0005]** Als Ausgangsstoffe dienen für die bekannten Produkte auf Basis der nachwachsenden Rohstoffe in der Regel Faserstoffe, die aus Holz gewonnen werden. Derartige Faserzellen weisen unterschiedliche Schichten auf und bestehen hauptsächlich aus Cellulose, Hemicellulosen und Lignin. In den jeweiligen Schichten liegen unterschiedliche Mengenanteile der bekannten chemischen Bestandteile Cellulose, Hemicellulosen und Lignin vor. Die größten Anteile weisen Cellulose (ca. 50 Prozent) und die Hemicellulosen (ca. 30 Prozent) auf. Das Lignin durchzieht alle Schichten und weist in der Nähe des Lumens eine sehr geringe Konzentration auf, während der Großteil des Lignins in der Mittellamelle angesiedelt ist und schwer zugänglich ist. Allgemein stellt die Holzfaser eine pflanzliche Zelle dar, die vergleichbar auch bei den lignocellulosehaltigen Einjahrespflanzen analog aufgebaut ist. Sie besteht aus mehreren Primär- und Sekundärwänden, welche den inneren Hohlraum, das Lumen, umschließen. Den äußeren Ring nennt man Mittellamelle und dieser dient in erster Linie zur Anbindung an die angrenzenden weiteren Zellen und besteht überwiegend aus dem wasserunlöslichen Lignin. Eine Trennung der einzelnen Faserbestandteile ist naturgemäß mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Bei den bekannten bestehenden Verfahren aus der Papierindustrie lag der Fokus in der Regel auf dem Herauslösen der Ligninbestandteile. Dadurch sollte eine Faser-Faser-Bindung auf Basis sogenannter Wasserstoffbrückenbindungen erreicht werden. Diese Bindungsart ist jedoch sehr stark wasserempfindlich, zudem werden bestimmte Festigkeitseigenschaften, wie die Biege- und Druckfestigkeit, stark negativ beeinflusst.

**[0006]** Die bekannten formstabilen Gegenstände auf Basis nachwachsender Biomasse (respektive holz- oder papierbasierte Verpackungs- oder Transportgegenstände) eignen sich in der Regel nicht für einen dauerhaften Einsatz im feuchten Milieu, wodurch eine Vielzahl an Verwendungszwecken wegfällt. Um diesen naturgegebenen Nachteil bei der Verwendung nachwachsender Biomasse auszugleichen, werden regelmäßig in einem oder mehreren der Verfahrensschritte zur Herstellung derartiger formstabiler Gegenstände Stoffe hinzugefügt, was eine Optimierung der Oberfläche oder der physikalischen Eigenschaften des formstabilen Gegenstandes bewirken soll. Der Einsatz von Zusatzstoffen im Verarbeitungsprozess hat allerdings regelmäßig zur Folge, dass einerseits die Verarbeitbarkeit erschwert wird, indem beispielsweise weitere Verfahrensschritte vorgenommen werden müssen oder dass andererseits die anschließende Recycling- oder Kompostierfähigkeit der entsprechend hergestellten formstabilen Gegenstände nicht mehr gegeben ist. Die Mischung von nachwach-

senden mit nichtnachwachsenden Rohstoffen führt häufig zu dem weiteren Nachteil, dass Mischstoffe oder Verbundwerkstoffe (Kompositmaterialien, Verbundmaterialien) entstehen, die sich aus ökonomischen oder verfahrenstechnischen Gesichtspunkten nicht mehr trennen lassen können und daher im weiteren Verlauf nicht einmal mehr der Kreislaufwirtschaft zur Verfügung stehen. Derartige Produkte können daher regelmäßig im letzten Schritt nur noch der thermischen Verwertung zugeführt werden, wodurch wiederum ursprünglich zu vermeidende Treibhausgase entstehen.

**[0007]** Weitere Nachteile der formstabilen Gegenstände auf Basis nachwachsender Biomasse (respektive holz- oder papierbasierte Verpackungs- oder Transportgegenstände) liegen neben der verschlechterten hygrokopischen Eigenschaft in den schlechteren mechanischen Materialeigenschaften gegenüber den "herkömmlichen" Produkten für vergleichbare Verwendungszwecke. Zu den verschlechterten Materialeigenschaften zählen unter anderem die verminderte Festigkeitseigenschaft, Elastizität, Härte oder Sprödigkeit. Viele der bekannten formstabilen Gegenstände aus nachwachsender Biomasse werden darüber hinaus mit ungeeigneten oder abgekürzten Verfahrensschritten erzeugt, z. B. wird zur Erreichung eines "natürlichen" Produkts auf essentielle Hilfsstoffe oder Additive verzichtet, wodurch einerseits die obigen verschlechterten Materialeigenschaften entstehen und andererseits Endprodukte mit minderwertiger Ästhetik (Oberfläche, Sauberkeit, Verfärbungen) erzeugt werden. Sofern bei den bekannten Verfahren zur Herstellung von formstabilen Gegenständen aus nachwachsender Biomasse auf zusätzliche Klebstoffe, Bindemittel oder andere Zuschlagstoffe verzichtet wird, sind die entstehenden Produkte nur für einen sehr begrenzten Verwendungszweck geeignet und nicht mit den "herkömmlichen" Produkten, z. B. auf Basis von Kunststoffen, aufgrund der begrenzten Materialeigenschaften konkurrenzfähig.

**[0008]** Bei den bekannten formstabilen Gegenständen auf Basis nachwachsender Biomasse (respektive holz- oder papierbasierte Verpackungs- oder Transportgegenstände) gibt es neben den technischen Eigenschaften der Produkte zudem Interessens- bzw. Real-Konflikte bei den einzusetzenden Rohstoffen. In der Umweltökonomie spricht man daher auch von Nutzenkonkurrenz. Ein bekanntes Beispiel ist die Teller-Tank-Diskussion bei der Erzeugung von Biokraftstoffen, die sich ebenfalls auf die zu verwendenden Rohstoffe für formstabile Gegenstände übertragen lässt. Das Grundproblem besteht darin, dass häufig Rohstoffe als Ersatzprodukte von fossilen Produkten verwendet werden, die anderenorts der Lebensmittelindustrie (z. B. Weizen-, Mais- oder Kartoffelstärke) entzogen werden, wodurch nicht nur die Preise steigen und Monokulturen beim Anbau befördert werden, sondern auch die Verfügbarkeit der entsprechenden Rohstoffe bzw. der Lebensmittel reduziert werden. Um diesem Problem entgegenzutreten, sind bereits Verpackungen bekannt, die aus Pflanzenabfällen hergestellt

werden, für die keine primäre Nutzung mehr vorgesehen ist.

**[0009]** Es sind beispielsweise Verpackungen aus Pflanzenabfällen aus der Landwirtschaft bekannt, die zunächst maschinell zerkleinert werden. Der durch Wasserzusatz entstehende Faserbrei wird in Formen gebracht und anschließend unter dem Einsatz eines Pressdrucks entwässert. Dabei entstehen einfache Verpackungen, z. B. Eierpappen, die in der Regel keine guten Eigenschaften gegenüber externen Einflüssen wie Temperatur, Feuchtigkeit, Druck-, Biege- oder Zugbelastung, Sonneneinstrahlung etc. aufweisen. Eine erhöhte Dauerhaftigkeit der durch dieses Verfahren erzeugten Verpackungen kann durch Zugabe von Additiven wie beispielsweise Harzen, Kleber, Leime etc. erreicht werden, wodurch - wie bereits oben erwähnt - die Kompostierbarkeit, Recyclingfähigkeit sowie weitere Nutzung der Rohstoffe ausgeschlossen ist.

**[0010]** Die aus dem Stand der Technik bekannten formstabilen Gegenstände sind daher entweder nicht ausreichend haltbar bzw. weisen nur unzureichende physikalische Eigenschaften auf, wenn die Produkteigenschaften auf die in den natürlichen Ausgangsstoffen enthaltenen Kohlenhydrate-Bausteine (Cellulose, Stärke etc.) basieren; oder sind nicht mehr als natürliche / kompostierbare formstabile Gegenstände anzusehen, wenn zusätzliche Bindemittel und Additive den Herstellungsverfahren hinzugefügt werden. EP0373726A2 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Cellulosefaseraggregats mit einem Erweichungsschritt und einem Härtungsschritt, wobei bei dem Erweichungsschritt ein wässriges Erweichungsmittel bei einer Temperatur im Bereich von 150°C bis 220°C bei einem Druck von mindestens dem Gleichgewichtsdampfdruck des Erweichungsmittels bei der Arbeitstemperatur auf einen Abschnitt aus Cellulosefasermaterial einwirken lässt, wodurch die im Cellulosefasermaterial vorhandene Hemicellulose bzw. das im Cellulosefasermaterial vorhandene Lignin zumindest teilweise disproportioniert und hydrolysiert werden.

**[0011]** Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes, vorzugsweise eines Behälters, bereitzustellen, bei dem der formstabile Gegenstand einerseits gute und gewünschte Materialeigenschaften aufweist, insbesondere verbesserte Festigkeits- und Wasserresistenzigenschaften gegenüber den bekannten Produkten aus nachwachsender Biomasse, und das andererseits bedarfsgerecht, kostengünstig und zuverlässig ausführbar ist.

**[0012]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1, umfassend die folgenden Schritte, gelöst: Bereitstellen von nachwachsender Biomasse, wobei die nachwachsende Biomasse zumindest Fasern mit Lignin, insbesondere Cellulosefasern mit Lignin, Hemicellulosen und Cellulose enthalten, und wobei die nachwachsende Biomasse aus der Gruppe der lignocellulosehaltigen Einjahrespflanzen ausgewählt ist, umfassend zu-

mindest ligninhaltige Mittellamellen, Zellzwickel, Primär- und Sekundärwände, Zerkleinern der nachwachsenden Biomasse, Versetzen der nachwachsenden Biomasse mit Wasser, Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse durch im Wesentlichen Überführung der nachwachsenden Biomasse in Biomassefaserstoffe mittels eines einen Dampf bereitstellenden Hochtemperatur-dampfaufschlussprozesses, wobei die Temperatur des eingesetzten Dampfes im Bereich von 150 °C bis 280 °C liegt, vorzugsweise im Bereich von 175 °C bis 250 °C, und wobei die Aufschlussdauer mittels des Dampfes im Bereich von 10 s bis 900 s liegt, vorzugsweise im Bereich von 20 s bis 300 s, unter Beibehaltung eines Großteils des Lignins in den Fasern, und unter Herauslösen und Austragen eines Teils der Cellulose sowie der Hemicellulosen, wobei der relative Anteil des Lignins erhöht wird, Bereitstellen der Biomassefaserstoffe in einem Formgebungsprozess mit einem Gegenstandswerkzeug unter Ausbildung eines Gegenstandformlings, thermische Behandlung des Gegenstandformlings unter Umsetzen zumindest bereichsweise des in den Fasern der Biomassefaserstoffe enthaltenen Lignins an die Außenfläche der Fasern, wobei durch das Aufreißen der ligninhaltigen Mittellamellen, des Zellzwickels, der Primär- und/oder Sekundärwände eine Zugänglichkeit des Lignins gegeben ist, Erzeugen einer zumindest teilweise irreversiblen Verbindung des Gegenstandformlings durch Vernetzung der Fasern der Biomassefaserstoffe untereinander mittels des Lignins.

**[0013]** Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist überraschenderweise festgestellt worden, dass das Lignin bei dem Herstellungsverfahren eines formstabilen Gegenstandes positive Eigenschaften besitzt, indem die phenolischen Makromoleküle des Lignins mit ihren funktionalen Seitengruppen als Bindemittel für die zu erzeugenden formstabilen Gegenstände fungieren. Das Lignin muss dazu nicht vollständig aus den Biomassefaserstoffen herausgelöst werden, sondern kann und soll in der Faserstruktur erhalten bleiben. Ein überraschender positiver Effekt ist darüber hinaus gegeben, wenn Teile der Cellulose sowie der Hemicellulosen aus dem Faserverbund der nachwachsenden Biomasse herausgelöst und ausgetragen werden. Auf diese Weise wird ein höherer Gesamtanteil von Lignin in der bereitgestellten Biomassefaserstoffe angereichert, um die überraschenden Eigenschaften des Lignins und seiner Vernetzung in Verbindung mit den verbleibenden Faserbestandteilen anzuwenden und auszuführen. Das Lignin, als 3-dimensionales Makromolekül, wird während des Verarbeitungsprozesses an die Außenflächen der Fasern der Biomassefaserstoffe überführt und angereichert, um anschließend bei der Erzeugung über seinen Glas-Transition-Point (Fließpunkt) zu der irreversiblen Vernetzung der in dem Gegenstandsformling enthaltenen Fasern beizutragen. In der Folge weisen die daraus resultierenden formstabilen Gegenstände positive Materialeigenschaften, wie beispielsweise hohe Festigkeitswerte, positive Wasserwiderstandseigenschaften, homogene Materialei-

genschaften etc., auf. Auf diese Weise werden bei den durch das erfindungsgemäße Verfahren erzeugten formstabilen Gegenständen umfangreiche Vorteile in Bezug auf die Materialeigenschaften, gegenüber den Produkten aus dem Stand der Technik, erzeugt. Durch den natürlichen Ursprung des Lignins ist darüber hinaus eine Kompostierbarkeit der formstabilen Gegenstände sowie eine sekundäre Nutzung als Rohstoff für weitere Produktgruppen, beispielsweise im Bereich der Holzwerkstoffindustrie, gegeben. Die Verfahrensschritte können vorzugsweise jeweils in Abhängigkeit von der zu verwendenden nachwachsenden Biomasse ausgewählt sein. Dabei ist es weiter bevorzugt je nach Ausgangsmaterial möglich, dass einzelne Verfahrensschritte ausgelassen bzw. zusammengelegt werden. Es ist insbesondere zum Erzeugen eines formstabilen Gegenstandes wichtig, dass bei der Vorbehandlung eine teilweise "Freilegung" bzw. eine teilweise Verfügbarkeit des Lignins gegeben ist, wodurch eine anschließende Aktivierung mit der Vernetzung der Faserbestandteile ausführbar ist. Das erfindungsgemäße Verfahren wird bevorzugt kontinuierlich oder diskontinuierlich durchgeführt, wobei besonders bevorzugt einzelne Teilschritte, wie beispielsweise die Vorbehandlung oder die Zerkleinerung kontinuierlich durchgeführt werden und der Formgebungsprozess oder die thermische Behandlung kontinuierlich oder diskontinuierlich durchgeführt werden.

**[0014]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung der formstabilen Gegenstände erfordert einen geringen Komplexitätsgrad bei den verfahrenstechnischen Schritten, so dass ein kostengünstiger Betrieb möglich ist, was wiederum zu kostengünstigen Endprodukten führt. Vorzugsweise wird für das erfindungsgemäße Verfahren nur ein Eintrag an Wasser, Wärme sowie elektrische Energie für Antriebsmotoren benötigt, wodurch hohe Kosten von Prozesschemikalien oder weiteren Zusatzstoffen, wie Füll- oder Klebstoffe, vermieden werden.

**[0015]** Bei der Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse durch eine im Wesentlichen Überführung der nachwachsenden Biomasse in Biomassefaserstoffe unter Beibehaltung zumindest eines Großteils des Lignins in den Fasern, verbleibt vorzugsweise mindestens 50 % des in den eingesetzten Fasern enthaltenen Lignins aus der nachwachsenden Biomasse in dem Biomassefaserstoff.

**[0016]** Unter "formstabilen Gegenstand" im Sinne der Erfindung sind grundsätzlich sämtliche Gegenstände zu verstehen, die mittels bereitgestellter Biomassefaserstoffe herstellbar sind. Dazu zählen insbesondere Behälter, wobei die Behälter für eine Vielzahl an Funktionen einsetzbar sind. Derartige formstabile Gegenstände bzw. Behälter sind auch allgemein unter den Begriffen Verpackungsmaterialien, Einweg- und Mehrwegverpackungen, (Einweg-)Geschirr, (Einweg-)Schalen, (Einweg-)Teller, (Einweg-)Becher, "To-Go"-Verpackungen oder dergleichen bekannt. Die formstabilen Gegenstände umfassen dabei explizit hohlraumbildende Gegenstände als auch Gegenstände mit Vollmaterialien. Rela-

tiv dünnwandige formstabilen Gegenstände sind mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bevorzugt herzustellen, bevorzugt Dicken im Bereich von 0,5 mm bis 10 mm, wobei ebenfalls dickere und dünnere Gegenstände mit dem erfindungsgemäßen Verfahren herstellbar sind.

**[0017]** "Nachwachsende Biomasse" ist im Sinne der Erfindung sämtliche Biomasse, die aus nachwachsenden Ressourcen stammt. Unter nachwachsender Biomasse fällt insbesondere auch der Zusatz von nicht-nachwachsender Biomasse, wie beispielsweise Altpapier oder recycelte Fasern, wobei diese maximal bis zu 25 Gewichtsprozenten enthalten sind. Die nachwachsende Biomasse besteht vorzugsweise aus Agrarreststoffen, die in der Regel nicht primär genutzt werden.

**[0018]** "Zerkleinern" der nachwachsenden Biomasse bedeutet im Sinne der Erfindung, dass der eingesetzte Rohstoff derart zerkleinert wird, damit dieser den nachfolgenden Prozessen zuführbar ist. Dabei kann sich die Größe des "Zerkleinerns" abhängig von den nachgelagerten Verfahrensschritten unterscheiden. "Zerkleinern" wird beispielsweise auch unter den Begriffen schneiden, zerbrechen, hacken, raspeln, schaben, (ab-)trennen, kürzen oder separieren synonym verwendet. Das Zerkleinern führt regelmäßig zu Segmenten mit einer Länge von 0,5 cm bis 15 cm, wobei explizit auch längere und kürzere zerkleinerte Segmente nachwachsender Biomasse von der Begrifflichkeit umfasst sind.

**[0019]** Das Versetzen der nachwachsenden Biomasse mit Wasser kann alternativ auch mit wasserähnlichen Lösungsmitteln erfolgen oder mit Flüssigkeiten, die überwiegend Wasser enthalten, aber neben Wasser noch weitere (natürliche) Bestandteile aufweisen.

**[0020]** "Herauslösen und Austragen zumindest eines Teils der Cellulose sowie der Hemicellulosen" bedeutet im Sinne der Erfindung, dass der Anteil Cellulose sowie der Hemicellulosen im Rahmen der Vorbehandlung verringert wird, zumindest stärker verringert wird als der Anteil des Lignins. Das Herauslösen und Austragen kann einerseits gesteuert und aktiv erfolgen oder andererseits im Rahmen des Vorbehandlungsprozesses als nebengeordneter Effekt auftreten. Es ist jedoch im Sinne der Erfindung zweckdienlich, dass zumindest ein Teil der Cellulose und der Hemicellulosen erhalten bleiben, vorzugsweise ca. 20 % bis 70 %.

**[0021]** Unter "Erzeugen einer zumindest teilweise irreversiblen Verbindung durch Vernetzung" im Sinne der Erfindung ist zu verstehen, dass nicht der gesamte formstabile Gegenstand eine irreversible Verbindung durch Vernetzung aufweisen muss, aber zumindest derart mittels des Lignins vernetzt ist, dass bereichsweise eine irreversible Verbindung entsteht, wodurch die entsprechenden positiven Materialeigenschaften bei dem formstabilen Gegenstand erzeugt werden.

**[0022]** Eine zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vorbehandlung die Hemicellulosen und die Cellulose zumindest teilweise aus dem Verfahren ausgetragen werden, indem die Cellulose sowie die Hemicellulosen zumindest

teilweise aus der nachwachsenden Biomasse herausgelöst werden, und dass das Lignin möglichst vollständig beim Überführen der nachwachsenden Biomasse in Biomassefaserstoffe erhalten bleibt. "Zumindest teilweise aus der nachwachsenden Biomasse herausgelöst" bedeutet im Sinne der Erfindung, dass mindestens 10 % der Cellulose und/oder der Hemicellulosen aus der nachwachsenden Biomasse im Rahmen der Vorbehandlung ausgetragen werden. Der relative Anteil der ausgetragenen Cellulose sowie der Hemicellulosen ist höher als der potentielle ausgetragene Anteil des Lignins. Unter "Herauslösen" ist sowohl die beabsichtigte als auch die unbeabsichtigte Verringerung des Anteils der Faserbestandteile zu verstehen, die im Rahmen der Vorbehandlung auftreten bzw. auftreten können. Eine Reduktion des Anteils der Cellulose sowie der Hemicellulosen erhöht den relativen Anteil des Lignins in dem Zwischenprodukt, dem Biomassefaserstoff, wodurch die überraschenden positiven Eigenschaften des Lignins im Zuge der Herstellung der formstabilen Gegenstände auftreten.

**[0023]** Eine weitere zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vorbehandlung ausgehend von der nachwachsenden Biomasse 50 % bis 100 %, vorzugsweise 60% bis 90 %, des Lignins, 10 % bis 90 %, vorzugsweise 30 % bis 70 %, der Cellulose sowie 10 % bis 70 %, vorzugsweise 30 % bis 50 %, der Hemicellulosen in den Biomassefaserstoffen verbleiben. Bei einer Verringerung der entsprechenden Cellulose sowie der Hemicellulosen entstehen in Abhängigkeit von der Verringerung unterschiedlich hohe relative Anteile des Lignins im Biomassefaserstoff. In der Regel weist der formstabile Gegenstand bei höheren relativen Ligninanteilen verbesserte Widerstandsfähigkeiten gegenüber externen Einflüssen wie Feuchtigkeit, Biege- und Druckbelastung etc. auf, wobei jedoch insbesondere die Vernetzung bei höheren Ligninanteilen verstärkt ausgebildet ist.

**[0024]** Eine bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass die Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse in Biomassefaserstoffe mittels einer mechanischen Aufbereitung erfolgt, wobei die mechanische Aufbereitung eine Mahlung der nachwachsenden Biomasse umfasst. Die mechanische Aufbereitung weist den Vorteil auf, dass einerseits aus der Papierindustrie schon eine Vielzahl an Prozessen und Vorrichtungen bekannt sind, die für eine mechanische Aufbereitung zugrunde gelegt werden können und andererseits bietet die mechanische Aufbereitung die Möglichkeit einer bedarfsgerechten Veränderung der Faserstruktur der in der nachwachsenden Biomasse enthaltenen Fasern. Als mechanische Aufbereitungsmittel sind unterschiedliche Vorrichtungen denkbar, wobei vorzugsweise das Mahlen der Fasern mittels Refiner vorgenommen wird. Auf diese Weise kann eine bekannte Technologie der mechanischen Aufbereitung verwendet werden, um eine Veränderung der Fasern nach den entsprechenden Kriterien des erfindungsgemäßen Verfahrens vorzunehmen. Dabei ist lediglich die mechanische

Aufbereitung zwar grundsätzlich aus der papierverarbeitenden Industrie bekannt, jedoch wird dort ein unterschiedliches Ziel mit der mechanischen Aufbereitung verfolgt, da bei dortigen Prozessen eine Fibrillierung der Cellulose für eine Wasserstoffbrückenbildung erfolgen soll. Das Freilegen oder eine Anreicherung des Lignins in den Außenbereichen der Zellen und Fasern ist dabei unerwünscht. Die genannten Wasserstoffbrücken sind jedoch sehr wasserempfindlich und bilden auch keine hohen mechanischen Festigkeitseigenschaften aus, wie es bei den durch das erfindungsgemäße Verfahren bereitgestellten formstabilen Gegenständen gegeben ist.

**[0025]** Eine vorteilhafte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die mechanische Aufbereitung mittels eines Refiners mit Mahlplatten ausgeführt wird, wobei ein Plattenabstand der Mahlplatten des Refiners im Bereich von 0,05 mm bis 5 mm ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 0,1 mm bis 0,5 mm, und wobei eine Stoffdichte der nachwachsenden Biomasse im Bereich von 0,5 % bis 10 % ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 1 % bis 5 %. Auf diese Weise ist eine zuverlässige Möglichkeit bereitgestellt, um eine Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse zu Biomassefaserstoffen bereitzustellen. Neben dem Plattenabstand der Mahlplatten des Refiners, der je nach zu mahlendem nachwachsendem Rohstoff und/oder je nach gewünschtem Mahlgrad bedarfsgerecht einstellbar ist, kann vorzugsweise auch die Auswahl der Mahlplatten einen Einfluss auf die Biomassefaserstoffe haben. Die Mahlplatten können dabei vorzugsweise unterschiedliche Geometrien aufweisen, die veränderbar sind. Zur Erzeugung einer intensiveren Mahlung werden vorzugsweise geringere Plattenabstände ausgewählt und zur Durchführung einer "schonenderen" Mahlung können weiter bevorzugt größere Plattenabstände ausgewählt werden. Besonders bevorzugt kann der Vorgang der Vorbehandlung mittels mechanischer Aufbereitung durch die Refiner wiederholt werden, wobei die erzeugte gemahlene Biomasse anschließend bei unterschiedlichen oder gleichen Plattenabstände erneut der mechanischen Aufbereitung zugeführt wird. Insgesamt wird die nachwachsende Biomasse bevorzugt durch die Refiner-Behandlung derart bearbeitet, dass das Lignin überwiegend (> 50 %) im Faserverbund verbleibt bzw. zur späteren Vernetzung zur Verfügung steht. Die Stoffdichte kann in Abhängigkeit von der eingesetzten nachwachsenden Biomasse und/oder in Abhängigkeit der zu erzielenden Faseraufbereitung variiert werden, wobei bei einer höheren Stoffdichte in der Regel ein größerer Plattenabstand der Mahlplatten zu wählen ist.

**[0026]** Erfindungsgemäß erfolgt die Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse in Biomassefaserstoffe mittels eines einen Dampf bereitstellenden Hochtemperaturdampfaufschlussprozesses, wobei die Temperatur des eingesetzten Dampfes im Bereich von 150 °C bis 280 °C liegt, vorzugsweise im Bereich von 175 °C bis 250 °C, und wobei die Aufschlussdauer mittels des Dampfes im Bereich von 10 s bis 900 s liegt, vorzugs-

weise im Bereich von 20 s bis 300 s. Somit findet bereits eine Erweichung der eingesetzten Fasern statt, wodurch unter anderem die nachgeordnete mechanische Aufbereitung mit geringerem Energieeintrag durchgeführt werden kann. Weiter wird bereits durch die Temperaturzufuhr eine Erweichung des Lignins ausgebildet, um eine (verbesserte) Verfügbarkeit des Lignins bei der anschließenden Vernetzung bereitzustellen. Die Dauer des Temperatureintrags sowie die Höhe der Temperatur kann in Abhängigkeit von der eingesetzten nachwachsenden Biomasse und/oder in Abhängigkeit von der zu erzielenden Faseraufbereitung variiert werden, wobei in der Regel eine intensivere Vorbehandlung ausgebildet wird, je länger und höher der Temperatureintrag ist. Der Hochtemperaturdampfaufschlussprozess kann bevorzugt für nachwachsende Biomasse eingesetzt werden, die als Ausgangsprodukt eine höhere Steifigkeit bzw. eine Pflanzenfaserstruktur von höherer Komplexität besitzt, was insbesondere bei Mehrjahrespflanzen oder bei komplexeren Gräsern wie z. B. Bambus der Fall ist. Insbesondere die hohen Temperaturen bei der Vorbehandlung haben überraschenderweise zu einer verbesserten Verfügbarkeit des Lignins bei einem gleichzeitigen Austragen der Cellulose sowie der Hemicellulosen geführt. Durch die hohen Temperaturen, das heißt, bei über 150 °C bis 175 °C ist insbesondere eine Zugänglichkeit des in der Mittellamelle vorliegenden Lignins gegeben, was eine anschließende Vernetzbarkeit fördert. Vorzugsweise erfolgt die Vorbehandlung mittels eines Steam-Explosion-Verfahrens, bei dem eine Wasserdampfbehandlung bei der entsprechenden nachwachsenden Biomasse aus lignocellulosehaltigen Einjahrespflanzen bereitgestellt wird.

**[0027]** Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass bei der Vorbehandlung die zerkleinerten lignocellulosehaltigen Einjahrespflanzen derart aufgebrochen werden, dass deren ligninhaltige Mittellamellen, die Zellwände und die Primär- sowie Sekundärwände zumindest teilweise aufgebrochen werden, wobei das Lignin möglichst vollständig beim Überführen der nachwachsenden Biomasse in Biomassefaserstoffe erhalten bleibt und zur anschließenden Vernetzung bei der thermischen Behandlung freigelegt wird. In den sich an die Vorbehandlung anschließenden Verfahrensschritten ist eine Nutzung des Lignins dadurch gegeben, dass deren phenolische Makromolekülstruktur für die Ausbildung eines formstabilen Gegenstandes eingesetzt wird. Durch die Freilegung des Lignins aus der Mittellamelle ist eine Nutzung eines größeren Anteils des Lignins erst möglich, da in den herkömmlichen Verfahren lediglich eine sporadische Entfaltung der Eigenschaften des Lignins durch eine unzureichende Verfügbarkeit gegeben ist. In den vorbekannten Verfahren, z. B. Zellstoffherstellung nach dem Sulfatverfahren, wird das Lignin aus der Zelle in der Regel möglichst vollständig abgetrennt und ausgeschleust oder verbleibt innenliegend und unzugänglich in der Mittellamelle, z. B. TMP- oder Holzschliffverfahren, um einen Kontakt mit weiteren Zell-

bestandteilen und eine Aktivierung des Lignins zu verhindern.

**[0028]** Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass das freigelegte Lignin zumindest im Wesentlichen vollständig zur Erzeugung einer irreversiblen Verbindung des Gegenstandsformlings ausgebildet und eingerichtet ist, wobei die Zugänglichkeit des Lignins erhöht wird. Dies führt zu einer verbesserten und einer möglichst vollständigen Umsetzung bzw. Vernetzung des Lignins während der thermischen Behandlung, wodurch besonders vorteilhafte Eigenschaften bei der Erzeugung des formstabilen Gegenstandes gegeben sind.

**[0029]** In einer Ausgestaltung nicht gemäß der beanspruchten Erfindung kann die Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse in Biomassefaserstoffe mittels eines einen Dampf bereitstellenden Niedrigtemperaturdampfaufschlussprozesses erfolgen, wobei die Temperatur des eingesetzten Dampfes im Bereich von 100 °C bis 200 °C liegt, vorzugsweise im Bereich von 120 °C bis 175 °C, und wobei die Aufschlussdauer mittels des Dampfes im Bereich von 50 s bis 1.500 s liegt, vorzugsweise im Bereich von 100 s bis 900 s. Somit findet bereits eine Erweichung der eingesetzten Fasern statt, wodurch unter anderem die nachgeordnete mechanische Aufbereitung mit geringerem Energieeintrag durchgeführt werden kann. Weiter wird bereits durch die Temperaturzufuhr eine Erweichung des Lignins ausgebildet, um eine Verfügbarkeit des Lignins bei der anschließenden Vernetzung bereitzustellen. Die Dauer des Temperatureintrags sowie die Höhe der Temperatur kann in Abhängigkeit von der eingesetzten nachwachsenden Biomasse und/oder in Abhängigkeit von der zu erzielenden Faser- aufbereitung variiert werden, wobei in der Regel eine intensivere Vorbehandlung ausgebildet wird, je länger und höher der Temperatureintrag ist. Der Niedrigtemperaturdampfaufschlussprozess kann bevorzugt für nachwachsende Biomasse eingesetzt werden, die als Ausgangsprodukt eine geringere Steifigkeit bzw. eine Pflanzenfaserstruktur von geringer Komplexität besitzt, was insbesondere bei Einjahrespflanzen wie z. B. Gräsern oder Stroh der Fall ist.

**[0030]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse in Biomassefaserstoffe mittels eines Hochausbeute-Aufschlussverfahrens, bevorzugt durch ein Carbonataufschlussverfahren, wobei die Temperatur bei dem Hochausbeute-Aufschlussverfahren im Bereich von 100 °C bis 215 °C liegt, vorzugsweise im Bereich von 135 °C bis 175 °C, und wobei die Aufschlussdauer im Bereich von 15 min bis 150 min liegt, vorzugsweise im Bereich von 20 min bis 60 min, und wobei ein Aufschlussmittel mit einer Konzentration im Bereich von 5 % bis 35 % eingesetzt wird, vorzugsweise im Bereich von 10 % bis 25 %, vorzugsweise wird als Aufschlussmittel  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  in Lösung eingesetzt. Die Auswahl und die Höhe der Konzentration des Aufschlussmittels sowie Dauer des Temperatureintrags und die Hö-

he der Temperatur kann in Abhängigkeit von der eingesetzten nachwachsenden Biomasse und/oder in Abhängigkeit von der zu erzielenden Faseraufbereitung variiert werden, wobei in der Regel eine intensivere Vorbehandlung ausgebildet wird, je höher die Konzentration des Aufschlussmittels ist sowie je länger und höher der Temperatureintrag ist. Das Hochausbeute-Aufschlussverfahren kann bevorzugt für nachwachsende Biomasse eingesetzt werden, die als Ausgangsprodukt eine höhere Steifigkeit bzw. eine Pflanzenfaserstruktur von höherer Komplexität besitzt, was insbesondere bei Mehrjahrespflanzen oder bei komplexeren Gräsern wie z. B. Bambus der Fall ist.

**[0031]** Eine weitere zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Vorbehandlung nachgelagert eine Mahlung durchgeführt wird, wobei die Mahlung mittels eines Refiners mit Mahlplatten ausgeführt wird, wobei ein Plattenabstand der Mahlplatten des Refiners im Bereich von 0,05 mm bis 5 mm ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 0,1 mm bis 0,5 mm, und wobei eine Stoffdichte der nachwachsenden Biomasse im Bereich von 0,5 % bis 10 % ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 1 % bis 5 %. Auf diese Weise ist eine umfangreichere Möglichkeit gegeben, um eine tiefergehende Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse zu Biomassefaserstoffen bereitzustellen. Neben dem Plattenabstand der Mahlplatten des Refiners, der je nach zu mahlendem nachwachsendem Rohstoff und/oder je nach gewünschtem Mahlgrad bedarfsgerecht einstellbar ist, kann vorzugsweise auch die Auswahl der Mahlplatten einen Einfluss auf die Biomassefaserstoffe haben. Zur Erzeugung einer intensiveren Mahlung werden vorzugsweise geringere Plattenabstände ausgewählt und zur Durchführung einer "schonenderen" Mahlung können größere Plattenabstände ausgewählt werden. Vorzugsweise kann der Vorgang der Vorbehandlung mittels mechanischer Aufbereitung durch die Refiner wiederholt werden, wobei die erzeugte gemahlene Biomasse anschließend bei unterschiedlichen oder gleichen Plattenabständen erneut der mechanischen Aufbereitung zugeführt wird. Insgesamt wird bevorzugt die Faser durch die Refiner-Behandlung derart vorgenommen, dass das Lignin überwiegend (> 50 %) im Faserverbund verbleibt bzw. zur späteren Vernetzung zur Verfügung steht. Die Stoffdichte kann in Abhängigkeit von der eingesetzten nachwachsenden Biomasse und/oder in Abhängigkeit von der zu erzielenden Faseraufbereitung variiert werden, wobei bei einer höheren Stoffdichte in der Regel ein größerer Plattenabstand der Mahlplatten zu wählen ist.

**[0032]** Weiter bevorzugt ist der Vorbehandlung mindestens ein weiterer Verfahrensschritt zur erneuten Sortierung und/oder Zerkleinerung der erzeugten Biomassefaserstoffe nachgelagert angeordnet. Durch die Sortierung und/oder Zerkleinerung wird eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung und/oder Homogenisierung des erzeugten Rohstoffes für die Herstellung der formstabilen Gegenstände bereitgestellt. Auf diese Weise sind ein-

heitlichere und qualitativ hochwertigere Produkte erzeugbar, die einen hohen Reinheitsgrad aufweisen. Störstoffe und unerwünschte Partikel, die möglicherweise durch die Vorbehandlung in den Stofffluss aufgenommen wurden, können zudem durch die Sortierung und/oder die Zerkleinerung erkannt und aus dem Prozess ausgeschleust werden.

**[0033]** Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass der Formgebungsprozess mit dem Gegenstandswerkzeug durchgeführt wird, das als ein Formwerkzeug und als ein zu dem Formwerkzeug korrespondierendes Presswerkzeug ausgebildet und eingerichtet ist, wobei die Biomassefaserstoffe in dem Formwerkzeug zu dem Gegenstandsformling geformt werden und mit dem Presswerkzeug unter Ausbildung eines Presswerkzeugpressdrucks gepresst werden, wobei der Presswerkzeugpressdruck im Bereich von 0,5 bar bis 22 bar liegt, vorzugsweise im Bereich von 1 bar bis 8 bar. Die Ausführung des Formgebungsprozesses durch das Gegenstandswerkzeug erhöht die Formgebung und die Einheitlichkeit bei dem Prozess. Die Ausbildung des Gegenstandswerkzeugs als ein Formwerkzeug mit einem korrespondierenden Presswerkzeug stellt eine zuverlässige Möglichkeit dar, um konstante Qualitäten bei der Herstellung eines formstabilen Gegenstands zu liefern. Durch die Ausbildung des Presswerkzeugdrucks erfolgt bereits eine Entwässerung bei der Herstellung, wodurch eine anschließende Trocknungsdauer reduziert wird.

**[0034]** Eine zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Formgebungsprozess ausgewählt ist aus einem oder mehreren der nachfolgenden Verfahren: Spritzgussverfahren, Extrusionsverfahren, Pressverfahren oder Tiefzieh- und Blasformverfahren. Bevorzugterweise wird je nach herzustellendem formstabilem Gegenstand der entsprechende Formgebungsprozess ausgewählt.

**[0035]** Eine vorteilhafte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass mittels der Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse in Biomassefaserstoffe in Verbindung mit dem Formgebungsprozess und/oder der thermischen Behandlung derart die Eigenschaften des formstabilen Gegenstandes einstellbar sind, dass die Härte, die Formstabilität und/oder die Wasserfestigkeit, in Abhängigkeit von der Temperatur, dem Pressdruck, der Stoffdichte und/oder dem Mahlgrad, variierbar sind. Auf diese Weise kann durch eine Anpassung der Parameter im Verfahren zur Herstellung des formstabilen Gegenstandes selektiv auf die einzelnen mechanischen Eigenschaften des formstabilen Gegenstandes eingegangen werden. Es kann beispielsweise durch eine längere Mahldauer die Beschaffenheit der Fasern variiert werden, was in einem verbesserten Freilegen des Lignins resultiert, wodurch u. a. die mechanischen Eigenschaften des Endprodukts anpassbar sind. Die weiteren Parameter können je nach eingetragener Biomasse sowie verwendeten Prozessen unterschiedlich ausfallen.

**[0036]** In einer weiteren bevorzugten Weiterbildung

der Erfindung erfolgt die thermische Behandlung des Gegenstandsformlings unter Ausbildung eines Trocknungspressdrucks auf den Gegenstandsformling, wobei der Trocknungspressdruck im Bereich von 0,3 bar bis 10 bar liegt, vorzugsweise im Bereich von 0,5 bar bis 5 bar. Auf diese Weise wird eine schnellere Trocknung herbeigeführt. Weiterhin können vorzugsweise weitere Mittel und/oder Verfahrensschritte vor- oder nachgelagert vorhanden sein, um eine verbesserte Trocknung vorzunehmen oder um weitere Materialeigenschaften in dem formstabilen Gegenstand einzubringen, beispielsweise eine Oberflächenbehandlung.

**[0037]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die thermische Behandlung des Gegenstandsformlings ohne Ausbildung eines Trocknungspressdrucks auf den Gegenstandsformling. Das verringert die Energiekosten im Zusammenhang mit der Herstellung des formstabilen Gegenstandes und führt zu einer Kostenersparnis sowie zu einer schonenderen Trocknung.

**[0038]** Eine weitere zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Behandlung bei einer Temperatur im Bereich von 70 °C bis 250 °C erfolgt, vorzugsweise im Bereich von 130 °C bis 200 °C. Durch den Einsatz einer thermischen Behandlung ist regelmäßig ein deutlich planbarer sowie verkürzter Trocknungsvorgang des Gegenstandsformling gegeben, wodurch eine bedarfsgerechte Herstellung unter bekannten Trocknungsparametern ausgeführt werden kann. Die Dauer und Höhe des Temperatureintrags können in Abhängigkeit von der eingesetzten nachwachsenden Biomasse und/oder in Abhängigkeit von der Größe oder Form des Gegenstandsformling individuell ausgewählt und angepasst sein.

**[0039]** Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass der Anteil des Lignins in den Fasern der nachwachsenden Biomasse im Bereich 5 % bis 45 % liegt, vorzugsweise im Bereich von 15 % bis 35 %. Der Anteil des Lignins ist dabei überwiegend abhängig von der einzusetzenden nachwachsenden Biomasse und kann je nach herzustellendem formstabilem Gegenstand entsprechend eingesetzt und ausgewählt werden. Bei formstabilen Gegenständen, die eine hohe Vernetzbarkeit benötigen, wird vorzugsweise eine nachwachsende Biomasse mit einem hohen Ligningehalt ausgewählt, wobei bei formstabilen Gegenständen mit geringen benötigten Festigkeitseigenschaften auch nachwachsende Biomasse mit einem geringeren Ligningehalt eingesetzt werden kann.

**[0040]** Eine weitere zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse, dem Bereitstellen der Biomassefaserstoffe in dem Formgebungsprozess und bei der thermischen Behandlung der Biomassefaserstoffe keine zusätzlichen organischen und/oder anorganischen Klebstoffe hinzugefügt werden. Damit ist eine problemlose Kompostierbarkeit der formstabilen Gegenstände gegeben, wodurch insbesondere

eine einfache Entsorgung oder ein einfaches Recycling ermöglicht werden. Ferner führt der Verzicht auf Klebstoffe trotzdem zu gleichbleibenden qualitativen und mechanischen Eigenschaften mit einer einhergehenden Kostenersparnis bei der Herstellung der formstabilen Gegenstände, da Klebstoffe einen hohen Kostenanteil bei der Produktion darstellen.

**[0041]** Eine zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse, dem Bereitstellen der Biomassefaserstoffe in dem Formgebungsprozess und bei der thermischen Behandlung der Biomassefaserstoffe keine Additive hinzugefügt werden. Damit ist eine problemlose Kompostierbarkeit der formstabilen Gegenstände gegeben, wodurch insbesondere eine einfache Entsorgung ermöglicht wird. Ferner führt der Verzicht auf Additive trotzdem zu gleichbleibenden qualitativen und mechanischen Eigenschaften mit einer einhergehenden Kostenersparnis bei der Herstellung der formstabilen Gegenstände, da Additive einen hohen Kostenanteil bei der Produktion darstellen.

**[0042]** Eine bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass die Rohstoffe der nachwachsenden Biomasse ausgewählt sind aus mindestens einem oder einer Kombination der langfaserigen lignocellulosehaltigen Pflanzen, insbesondere aus Gräsern, Getreide, Stroh, Bast-, Blätter-, Samen- und/oder Samenhülsenfasern, besonders bevorzugt aus Miscanthus, Hanf, Stroh, Haferspelze, Flachs, Sisal und/oder Bambus. In einer bevorzugten Ausführungsform kann ein geringfügiger Anteil der eingesetzten Rohstoffe Sekundärfasern mit einem Gewichtsanteil von maximal 25 % sein.

**[0043]** Weitere zweckmäßige und/oder vorteilhafte Merkmale und Weiterbildungen sowie bevorzugte Verfahrensschritte ergeben sich aus den Unteransprüchen und der Beschreibung. Besonders bevorzugte Ausführungsformen des Verfahrens zur Herstellung formstabiler Gegenstände bzw. des formstabilen Gegenstandes werden anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen formstabilen Gegenstandes in einer Ansicht von schräg oben,

Fig. 2 ein Verfahrensschema für ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes,

Fig. 3 eine vereinfachte schematische Darstellung eines typischen Aufbaus eines Lignin enthaltenen pflanzlichen Zellverbunds und

Fig. 4 eine vereinfachte schematische Darstellung eines typischen Aufbaus eines freigelegten Lignin enthaltenen pflanzlichen Zellverbunds.

**[0044]** Anhand der vorgenannten Figuren wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes sowie der formstabile Gegenstand näher beschrieben.

5 **[0045]** Das in den Zeichnungen dargestellte Verfahren zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes auf Basis nachwachsender Biomasse sowie der formstabile Gegenstand aus nachwachsender Biomasse ist exemplarisch als Verfahren zur Herstellung eines Behälters sowie als Behälter abgebildet. Die Erfindung bezieht sich in gleicher Weise auf vergleichbare formstabile Gegenstände, die nicht nur die Funktion oder Ausgestaltung eines Behälters aufweisen.

10 **[0046]** Fig. 1 zeigt schematisch eine Ausführungsform eines formstabilen Gegenstandes 10 aus nachwachsender Biomasse anhand eines Behälters, der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes 10 erzeugt wurde. Der Behälter weist beispielhaft einen Grundkörper 11 mit einem Aufnahmebereich 12 auf, der durch einen Boden 13 und eine Umrandung 14, die eine zusammenhängende Seitenwand 14 darstellt, gebildet ist.

15 **[0047]** Fig. 2 zeigt ein Verfahrensschema zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes 10 umfassend die folgenden Schritte: (I) Bereitstellen von nachwachsender Biomasse 15, wobei die nachwachsende Biomasse 15 zumindest Fasern 16 mit Lignin 17, insbesondere Cellulosefasern mit Lignin 17, Hemicellulosen und Cellulose enthalten, und wobei die nachwachsende Biomasse aus der Gruppe der lignocellulosehaltigen Einjahrespflanzen ausgewählt ist, umfassend zumindest ligninhaltige Mittellamellen, Zellzwickel, Primär- und Sekundärwände, 20 (II) Zerkleinern der nachwachsenden Biomasse 15, (III) Versetzen der nachwachsenden Biomasse 15 mit Wasser, (IV) Vorbehandlung der nachwachsenden Biomasse 15 durch im Wesentlichen Überführung der nachwachsenden Biomasse 15 in Biomassefaserstoffe 18 unter Beibehaltung eines Großteils des Lignins 17 in den Fasern 16, und unter Herauslösen und Austragen zumindest eines Teils der Cellulose sowie der Hemicellulosen, wobei der relative Anteil des Lignins 17 erhöht wird, (V) Bereitstellen der Biomassefaserstoffe 18 in (VI) einem Formgebungsprozess mit einem - in den Figuren nicht im Detail gezeigten - Gegenstandswerkzeug unter Ausbildung eines - ebenfalls in den Figuren nicht im Detail gezeigten - Gegenstandformlings, (VII) thermische Behandlung des Gegenstandformlings unter Umsetzen zumindest bereichsweise des in den Fasern 16 der Biomassefaserstoffe 18 enthaltenen Lignins 17 an die Außenfläche der Fasern 16, (VIII) Erzeugen einer zumindest teilweise irreversiblen Verbindung des Gegenstandformlings durch Vernetzung der Fasern 16 der Biomassefaserstoffe 18 untereinander mittels des Lignins 17.

25 **[0048]** Vorzugsweise werden bei der Vorbehandlung (IV) die Cellulose sowie die Hemicellulosen zumindest teilweise aus dem Verfahren ausgetragen, indem die Cellulose sowie die Hemicellulosen zumindest teilweise aus der nachwachsenden Biomasse 15 herausgelöst

werden, und dass das Lignin 17 möglichst vollständig beim Überführen der nachwachsenden Biomasse 15 in Biomassefaserstoffe erhalten bleibt. In der Fig. 4 ist schematisch der Aufbau der Zellen dargestellt und der Verbleib des Lignins 17 beim Aufbrechen der Zellwand bzw. der Mittellamelle 21. Bei diesem Vorgang wird in der Regel die Grundstruktur - abweichend von der schematischen Abbildung der Fig. 3 und Fig. 4 - der Zelle zumindest teilweise zerstört, wodurch entsprechend die überwiegend in der Primär- und Sekundärwand enthaltenen Cellulose sowie Hemicellulosen zumindest teilweise herausgelöst werden. Das Verfahren wird zudem in einer wässrigen Lösung durchgeführt, was ein Austragen der entsprechenden Cellulose und Hemicellulosen begünstigt.

**[0049]** In einer bevorzugten Ausführungsform verbleibt bei der Vorbehandlung (IV) ausgehend von der nachwachsenden Biomasse 50 % bis 100 %, vorzugsweise 60% bis 90 %, des Lignins 17, 10 % bis 90 %, vorzugsweise 30 % bis 70 %, der Cellulose sowie 10 % bis 70 %, vorzugsweise 30 % bis 50 %, der Hemicellulosen in den Biomassefaserstoffen 18.

**[0050]** Wie in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 2 gezeigt, kann dem Verfahrensschritt des Zerkleinerns der Biomasse 15 ein weiterer Verfahrensschritt (IIa) nachgelagert angeordnet sein, bei dem eine Sortierung der zerkleinerten bzw. der eingesetzten Biomasse 15 erfolgt. Eine Sortierung (IIa) bedeutet insbesondere, dass Schmutz- und Störstoffe bei diesem Schritt aus dem Herstellungsverfahren abgeführt werden sowie die Überprüfung, ob eine gleichmäßig gewünschte Zerkleinerung (II) in dem vorgelagerten Schritt erfolgt ist. Ggf. kann eine Abführung von zu großer oder zu kleiner nachwachsender Biomasse 15 vorgenommen werden. Das Ziel bei der Zerkleinerung (II) sowie bei der Sortierung (IIa) besteht darin, einen möglichst homogenen Ausgangsrohstoff für das weitere Verfahren zur Verfügung zu stellen. Die Verfahrensschritte (I), (II) sowie (IIa) können vorzugsweise örtlich unabhängig von den weiteren Verfahrensschritten zur Herstellung des formstabilen Gegenstandes 10 durchgeführt werden. Je nach bereitgestellter Biomasse 15 kann auch der Schritt des Zerkleinerns (II) oder die Sortierung (IIa) ausgespart werden, falls die bereitgestellte (I) Biomasse 15 bereits eine entsprechende Größe oder die gewünschten Qualitätsanforderungen für das erfindungsgemäße Verfahren aufweist. Der Verfahrensschritt der Sortierung (IIa) wird insbesondere mittels mindestens eines Sortierers und/oder mittels mindestens eines Hydrozyklon (Cleanerung) ausgeführt. Weiter bevorzugt kann eine Mehrzahl derartiger Vorrichtungen in Reihe oder Parallel angeordnet sein.

**[0051]** Vorzugsweise erfolgt die Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse 15 in Biomassefaserstoffe 18 mittels (IVa) einer mechanischen Aufbereitung, wobei die mechanische Aufbereitung (IVa) eine Mahlung der nachwachsenden Biomasse 15 umfasst. Die mechanische Aufbereitung (IVa) wird bevorzugt mittels eines - in den Figuren nicht im Detail gezeigten - Refiners mit

Mahlplatten ausgeführt, wobei ein Plattenabstand der Mahlplatten des Refiners im Bereich von 0,05 mm bis 5 mm ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 0,1 mm bis 0,5 mm, und wobei eine Stoffdichte der nachwachsenden Biomasse im Bereich von 0,5 % bis 10 % ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 1 % bis 5 %.

**[0052]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse 15 in Biomassefaserstoffe 18 mittels eines einen Dampf bereitstellenden Hochtemperaturdampfaufschlussprozesses (Ivb), wobei die Temperatur des eingesetzten Dampfes im Bereich von 150 °C bis 280 °C liegt, vorzugsweise im Bereich von 175 °C bis 250 °C, und wobei die Aufschlussdauer mittels des Dampfes im Bereich von 10 s bis 900 s liegt, vorzugsweise im Bereich von 20 s bis 300 s. Der Hochtemperaturdampfaufschlussprozess (Ivb) ist vereinfacht und nur schematisch als nebengeordneter Verfahrensschritt unter der Vorbehandlung (IV) in der Fig. 2 dargestellt. Der Hochtemperaturdampfaufschlussprozess (Ivb) kann in einer bevorzugten Ausführungsform auch als unabhängiger Verfahrensschritt ausgeführt werden und dabei beispielsweise kontinuierlich oder im Batchverfahren durchgeführt werden.

**[0053]** Vorzugsweise werden bei der Vorbehandlung (IV) die zerkleinerten lignocellulosehaltigen Einjahrespflanzen derart aufgebrochen werden, dass deren ligninhaltige Mittellamellen 21, die Zellzwickele und die Primär- sowie Sekundärwände zumindest teilweise aufgebrochen werden, wobei das Lignin 17 möglichst vollständig beim Überführen der nachwachsenden Biomasse 15 in Biomassefaserstoffe erhalten bleibt und zur anschließenden Vernetzung bei der thermischen Behandlung (VII) freigelegt wird. In der Fig. 4 ist schematisch die nachwachsende Biomasse 15 einer lignocellulosehaltigen Einjahrespflanze nach deren Vorbehandlung (IV) dargestellt, wodurch das freigelegte Lignin 17 deutlich wird. In den weiteren Verfahrensschritten ist eine Nutzung des Lignins 17 durch die Verfügbarkeit gegeben. Bei einem Vergleich mit der Fig. 3, wo eine Freilegung des Lignins 17 noch nicht gegeben ist, wird deutlich, dass eine größere Kontaktfläche gegeben ist und eine erhöhte Aktivierung des potentiell verfügbaren Lignins 17 in der nachwachsenden Biomasse 15 kann bereitgestellt werden. Vorzugsweise ist das freigelegte Lignin 17 zumindest im Wesentlichen vollständig zur Erzeugung einer irreversiblen Verbindung (VIII) des Gegenstandsformlings ausgebildet und eingerichtet, wobei die Zugänglichkeit des Lignins 17 erhöht wird.

**[0054]** Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse 15 in Biomassefaserstoffe 18 mittels eines einen Dampf bereitstellenden Niedrigtemperaturdampfaufschlussprozesses (Ivc), wobei die Temperatur des eingesetzten Dampfes im Bereich von 100 °C bis 200 °C liegt, vorzugsweise im Bereich von 120 °C bis 175 °C, und wobei die Aufschlussdauer mittels des Dampfes im

Bereich von 50 s bis 1.500 s liegt, vorzugsweise im Bereich von 100 s bis 900 s. Der Niedrigtemperaturdampfaufschlussprozess (Ivc) ist vereinfacht und nur schematisch als nebengeordneter Verfahrensschritt unter der Vorbehandlung (IV) in der Fig. 2 dargestellt. Der Niedrigtemperaturdampfaufschlussprozess (Ivc) kann in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform auch als unabhängiger Verfahrensschritt ausgeführt werden und dabei beispielsweise kontinuierlich oder im Batchverfahren durchgeführt werden.

**[0055]** In einer weiteren bevorzugten - in den Figuren nicht gezeigten - Ausführungsform, kann an die Vorbehandlung (IV) eine Nachbearbeitung der Biomassefaserstoffe 18 bereitgestellt werden. Dazu können insbesondere weitere Verfahrensschritte, vergleichbar mit den Schritten (II) sowie (IIa) vorgesehen sein. Die Schritte beinhalten vorzugsweise eine Sortierung und/oder eine Zerkleinerung der Biomassefaserstoffe 18, um eine weitere Qualitätskontrolle der durch die Vorbehandlung bzw. der mechanischen Aufbereitung erzeugten nachwachsenden Biomasse 15 bereitzustellen. Die Verfahrensschritte werden insbesondere mittels mindestens eines Sortierers und/oder mindestens eines Hydrozyklon (Cleanerung) ausgeführt.

**[0056]** In der Fig. 2 ist eine weitere bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zu Herstellung formstabiler Gegenstände 10 gezeigt, in dem die Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse 15 in Biomassefaserstoffe 18 mittels eines Hochausbeute-Aufschlussverfahrens (Ivd) erfolgt, bevorzugt durch ein Carbonataufschlussverfahren, wobei die Temperatur bei dem Hochausbeute-Aufschlussverfahren im Bereich von 100 °C bis 215 °C liegt, vorzugsweise im Bereich von 135 °C bis 175 °C, und wobei die Aufschlussdauer im Bereich von 15 min bis 150 min liegt, vorzugsweise im Bereich von 20 min bis 60 min, und wobei ein Aufschlussmittel mit einer Konzentration im Bereich von 5 % bis 35 % eingesetzt wird, vorzugsweise im Bereich von 10 % bis 25 %, vorzugsweise wird als Aufschlussmittel  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  in Lösung eingesetzt. Das Hochausbeute-Aufschlussverfahren (Ivd) mit dem konkreten Ausführungsbeispiel des Carbonataufschlussverfahrens ist vereinfacht und nur schematisch als nebengeordneter Verfahrensschritt unter der Vorbehandlung (IV) dargestellt. Das Hochausbeute-Aufschlussverfahren (Ivd) kann in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform auch als unabhängiger Verfahrensschritt ausgeführt werden und dabei beispielsweise kontinuierlich oder im Batchverfahren durchgeführt werden.

**[0057]** Den Verfahrensschritten der Vorbehandlung (IV) bzw. (IVa) bis (IVd) kann vorzugsweise nachgelagert eine Mahlung (IVa') durchgeführt werden, wobei die Mahlung mittels eines Refiners mit Mahlplatten ausgeführt wird, wobei ein Plattenabstand der Mahlplatten des Refiners im Bereich von 0,05 mm bis 5 mm ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 0,1 mm bis 0,5 mm, und wobei eine Stoffdichte der nachwachsenden Biomasse im Bereich von 0,5 % bis 10 % ausgewählt wird, vor-

zugsweise im Bereich von 1 % bis 5 %. In der Fig. 2 ist daher bei den nebengeordneten Verfahrensschritten (IVa) bis (IVd), stilisiert die nachgelagerte Mahlung (IVa') in dem Verfahrensschema dargestellt.

**[0058]** Der Vorgang der Vorbehandlung (IV) bei der nachwachsenden Biomasse ist auf Zellebene in den Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt. Fig. 3 zeigt dabei eine vereinfachte Darstellung eines pflanzlichen Zellverbunds 19 mit einer Mehrzahl an pflanzlichen Zellen 20. Jede der Zellen 20 weist in der Regel eine Zellwand (Mittellamelle) 21 und einen Zellhohlraum (Lumen) 22 auf. Jede der einzelnen Zellen 20 kann anders ausgedrückt als Teil einer einzelnen Faser 16 der nachwachsenden Biomasse 15 bzw. als Querschnittsansicht einer Faser 16 angesehen werden, die über die Zellwand 21 bzw. die Mittellamelle mit weiteren Zellen 20 zu dem pflanzlichen Zellverbund 19 verbunden ist. Im Bereich der Zellwand 21 bzw. der Mittellamelle ist bei lignocellulosehaltigen Einjahrespflanzen regelmäßig das Lignin 17 angeordnet; das Hauptvorkommen des Lignins befindet sich dabei in der Mittellamelle und der Zwickel 25, was den Bereich des Zusammenlaufens von mehreren Mittellamellen darstellt. Es existieren Zellwandbereiche 21 mit unterschiedlich hohen Ligninanteilen, insbesondere in Bereichen mit einem Zusammentreffen von mehreren Zellwandbereichen 21. In der Fig. 3 ist ein natürlicher Zellverbund 19 vor der Vorbehandlung (IV) mit dem erfindungsgemäßen Verfahren dargestellt. Die Zellen 20 sind fest mit dem Lignin 17 verbunden und bilden einen starren Zellverbund 19, der im Wasser nicht löslich ist.

**[0059]** In der Fig. 4 ist ein Zellverbund 19 während bzw. nach der Vorbehandlung (IV) gezeigt, in dem der Zellverbund 19 zumindest teilweise freigelegt ("aufgerissen") ist, was durch die stilisierten Risse 24 im Bereich Zellwand 21 angedeutet ist. Durch die Vorbehandlung (IV) erfolgt eine Überführung der nachwachsenden Biomasse 15 in Biomassefaserstoffe 18, wobei die Struktur des Zellverbunds 19 verändert wird, indem die Zellwände 21 bzw. die ligninhaltigen Bereiche der Mittellamelle und der Zwickel 25 zumindest teilweise freigelegt werden. Die Zellen 20, das heißt, die Fasern 16 sind nicht mehr als komplexer Zellverbund 19 vorhanden, sondern die Außenflächen 23 der freigelegten Zellwandbereiche 21 wurden durch die Vorbehandlung verfügbar gemacht. Auf diese Weise kann das Lignin 17 der Zellwand 21 für das weitere Verfahren, insbesondere für den Formgebungsprozess (VI) und die anschließende Vernetzung (VIII), verfügbar gemacht werden, wodurch die Ausbildung eines erfindungsgemäßen formstabilen Gegenstandes 10 ermöglicht wird. In dem Vorgang des Freilegens des Lignins 17 durch das Aufreißen des Zellverbunds 19 kann somit anders ausgedrückt, zumindest bereichsweise das Umsetzen des in den Fasern 16 der Biomassefaserstoffe 18 enthaltenen Lignins 17 an die Außenfläche der Fasern 16 gesehen werden. Das Lignin 17 wird nicht zwangsläufig an die Außenfläche 23 der Fasern 16 (örtlich) "umgesetzt", sondern durch das Aufreißen des Zellverbunds 19 ist vielmehr eine Zugänglich-

keit des Lignins 17 gegeben, wodurch eine anschließende Vernetzung (VIII) im Zuge des Formgebungsprozesses (VI) und der thermischen Behandlung (VII) zur Ausbildung des formstabilen Gegenstandes 10 ermöglicht wird.

**[0060]** Der Verfahrensschritt des Formgebungsprozesses (VI), der stilisiert in der Fig. 2 dargestellt ist, wird mit dem Gegenstandswerkzeug durchgeführt, das in einer bevorzugten Ausführungsform als ein Formwerkzeug und als ein zu dem Formwerkzeug korrespondierendes Presswerkzeug ausgebildet und eingerichtet ist, wobei die Biomassefaserstoffe 18 in dem Formwerkzeug zu dem Gegenstandsformling geformt werden und mit dem Presswerkzeug unter Ausbildung eines Presswerkzeugpressdrucks gepresst werden, wobei der Presswerkzeugpressdruck im Bereich von 0,5 bar bis 22 bar liegt, vorzugsweise im Bereich von 1 bar bis 8 bar. Bevorzugterweise ist der Formgebungsprozess (VI) ausgewählt aus einem oder mehreren der nachfolgenden Verfahren: Spritzgussverfahren, Extrusionsverfahren, Pressverfahren oder Tiefzieh- und Blasformverfahren.

**[0061]** Vorzugsweise sind mittels der Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse 15 in Biomassefaserstoffe 18 in Verbindung mit dem Formgebungsprozess (VI) und/oder der thermischen Behandlung (VII) derart die Eigenschaften des formstabilen Gegenstandes 10 einstellbar, dass die Härte, die Formstabilität und/oder die Wasserfestigkeit, in Abhängigkeit von der Temperatur, dem Pressdruck, der Stoffdichte und/oder dem Mahlgrad, variierbar sind. In dem Verfahrensschema der Fig. 2 können dazu die einzelnen Verfahrensschritte entsprechend angepasst und gesteuert werden. Die Anpassung derartiger Parameter erfolgt vorzugsweise auf Basis bekannter Verfahrensschritte, wobei das Lignin 17 für die Verwendung der Vernetzbarkeit im Formgebungsprozess (VI) bzw. für die thermische Behandlung (VII) verfügbar gemacht wird.

**[0062]** Bevorzugt erfolgt die thermische Behandlung (VII) des Gegenstandsformlings unter Ausbildung eines Trocknungspressdrucks auf den Gegenstandsformling, wobei der Trocknungspressdruck im Bereich von 0,3 bar bis 10 bar liegt, vorzugsweise im Bereich von 0,5 bar bis 5 bar. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann die thermische Behandlung (VII) des Gegenstandsformlings auch ohne Ausbildung eines Trocknungspressdrucks auf den Gegenstandsformling erfolgen. Vorzugsweise erfolgt die thermische Behandlung (VII) bei einer Temperatur im Bereich von 70 °C bis 250 °C, vorzugsweise im Bereich von 130 °C bis 200 °C.

**[0063]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes 10 werden vorzugsweise bei der Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse 15, dem Bereitstellen (V) der Biomassefaserstoffe 18 in dem Formgebungsprozess (VI) und bei der thermischen Behandlung (VII) der Biomassefaserstoffe 18 keine zusätzlichen organischen und/oder anorganischen Klebstoffe hinzugefügt. Weiter bevorzugt werden bei der Vorbehandlung (IV) der nach-

wachsenden Biomasse 15, dem Bereitstellen (V) der Biomassefaserstoffe 18 in dem Formgebungsprozess (VI) und bei der thermischen Behandlung (VII) der Biomassefaserstoffe 18 keine Additive hinzugefügt. Besonders bevorzugt werden dem gesamten Verfahren zur Herstellung des formstabilen Gegenstandes 10 weder organische und/oder anorganische Klebstoffe noch Additive hinzugefügt. Vorzugsweise wird das Verfahren zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes 10 nur mit den Rohstoffen der nachwachsenden Biomasse 15 ausgeführt, wobei Wasser als Lösungsmittel umfasst ist.

**[0064]** Die Rohstoffe der nachwachsenden Biomasse 15 sind vorzugsweise ausgewählt aus mindestens einem oder einer Kombination der langfaserigen lignocellulosehaltigen Pflanzen, insbesondere aus Gräsern, Getreide, Stroh, Bast-, Blätter-, Samen- und/oder Samenhülsenfasern, besonders bevorzugt aus Miscanthus, Hanf, Stroh, Haferspelze, Flachs, Sisal und/oder Bambus. Die Rohstoffe stammen besonders bevorzugt aus Agrarreststoffen, die der primären Nutzung nicht zugänglich sind.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines formstabilen Gegenstandes (10), vorzugsweise eines Behälters, umfassend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen von nachwachsender Biomasse (15), (I), wobei die nachwachsende Biomasse (15) zumindest Fasern (16) mit Lignin (17), insbesondere Cellulosefasern mit Lignin (17), Hemicellulosen und Cellulose enthalten, und wobei die nachwachsende Biomasse aus der Gruppe der lignocellulosehaltigen Einjahrespflanzen ausgewählt ist, umfassend zumindest ligninhaltige Mittellamellen (21), Zellzwicken (25), Primär- und Sekundärwände,
- Zerkleinern der nachwachsenden Biomasse (15), (II),
- Versetzen der nachwachsenden Biomasse (15) mit Wasser (III),
- Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse (15) durch im Wesentlichen Überführung der nachwachsenden Biomasse (15) in Biomassefaserstoffe (18) mittels eines einen Dampf bereitstellenden Hochtemperaturdampfaufschlussprozesses (IVb),

wobei die Temperatur des eingesetzten Dampfes im Bereich von 150 °C bis 280 °C liegt, vorzugsweise im Bereich von 175 °C bis 250 °C, und wobei die Aufschlussdauer mittels des Dampfes im Bereich von 10 s bis 900 s liegt, vorzugsweise im Bereich von 20 s bis 300 s, unter Beibehaltung eines Großteils des Lignins (17) in den Fasern (16), und unter Herauslösen und Austragen eines Teils der Cellulose sowie der Hemicellulosen, wobei der rela-

- tive Anteil des Lignins (17) erhöht wird,
- Bereitstellen der Biomassefaserstoffe (18), (V) in einem Formgebungsprozess (VI) mit einem Gegenstandswerkzeug unter Ausbildung eines Gegenstandformlings,
  - thermische Behandlung (VII) des Gegenstandformlings unter Umsetzen zumindest bereichsweise des in den Fasern (16) der Biomassefaserstoffe (18) enthaltenen Lignins (17) an die Außenfläche (23) der Fasern (16), wobei durch das Aufreißen der ligninhaltigen Mittellamellen, des Zellwickels, der Primär- und/oder der Sekundärwände eine Zugänglichkeit des Lignins (17) gegeben ist,
  - Erzeugen einer zumindest teilweise irreversiblen Verbindung (VIII) des Gegenstandformlings durch Vernetzung der Fasern (16) der Biomassefaserstoffe (18) untereinander mittels des Lignins (17).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Vorbehandlung (IV) die Cellulose sowie die Hemicellulosen zumindest teilweise aus dem Verfahren ausgetragen werden, indem die Cellulose sowie die Hemicellulosen zumindest teilweise aus der nachwachsenden Biomasse (15) herausgelöst werden, und dass das Lignin (17) möglichst vollständig beim Überführen der nachwachsenden Biomasse (15) in Biomassefaserstoffe erhalten bleibt.
  3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Vorbehandlung (IV) ausgehend von der nachwachsenden Biomasse 50 % bis 100 %, vorzugsweise 60% bis 90 %, des Lignins, 10 % bis 90 %, vorzugsweise 30 % bis 70 %, der Cellulose sowie 10 % bis 70 %, vorzugsweise 30 % bis 50 %, der Hemicellulosen in den Biomassefaserstoffen (18) verbleibt.
  4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse (15) in Biomassefaserstoffe (18) mittels einer mechanischen Aufbereitung (IVa) erfolgt, wobei die mechanische Aufbereitung (IVa) eine Mahlung der nachwachsenden Biomasse (15) umfasst.
  5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mechanische Aufbereitung (IVa) mittels eines Refiners mit Mahlplatten ausgeführt wird, wobei ein Plattenabstand der Mahlplatten des Refiners im Bereich von 0,05 mm bis 5 mm ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 0,1 mm bis 0,5 mm, und wobei eine Stoffdichte der nachwachsenden Biomasse (15) im Bereich von 0,5 % bis 10 % ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 1
- % bis 5 %.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Vorbehandlung (IV) die zerkleinerten lignocellulosehaltigen Einjahrespflanzen derart aufgebrochen werden, dass deren ligninhaltige Mittellamellen, die Zellwickel und die Primär- sowie Sekundärwände zumindest teilweise aufgebrochen werden, wobei das Lignin (17) möglichst vollständig beim Überführen der nachwachsenden Biomasse (15) in Biomassefaserstoffe erhalten bleibt und zur anschließenden Vernetzung bei der thermischen Behandlung (VII) freigelegt wird.
  7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das freigelegte Lignin (17) zumindest im Wesentlichen vollständig zur Erzeugung einer irreversiblen Verbindung (VIII) des Gegenstandformlings ausgebildet und eingerichtet ist, wobei die Zugänglichkeit des Lignins (17) erhöht wird.
  8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse (15) in Biomassefaserstoffe (18) mittels eines Hochausbeute-Aufschlussverfahrens (IVd) erfolgt, bevorzugt durch ein Carbonataufschlussverfahren, wobei die Temperatur bei dem Hochausbeute-Aufschlussverfahren (IVd) im Bereich von 100 °C bis 215 °C liegt, vorzugsweise im Bereich von 135 °C bis 175 °C, und wobei die Aufschlussdauer im Bereich von 15 min bis 150 min liegt, vorzugsweise im Bereich von 20 min bis 60 min, und wobei ein Aufschlussmittel mit einer Konzentration im Bereich von 5 % bis 35 % eingesetzt wird, vorzugsweise im Bereich von 10 % bis 25 %, vorzugsweise wird als Aufschlussmittel Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in Lösung eingesetzt.
  9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vorbehandlung (IV) nachgelagert eine Mahlung (IVa') durchgeführt wird, wobei die Mahlung (IVa') mittels eines Refiners mit Mahlplatten ausgeführt wird, wobei ein Plattenabstand der Mahlplatten des Refiners im Bereich von 0,05 mm bis 5 mm ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 0,1 mm bis 0,5 mm, und wobei eine Stoffdichte der nachwachsenden Biomasse (15) im Bereich von 0,5 % bis 10 % ausgewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 1 % bis 5 %.
  10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formgebungsprozess (IVa) mit dem Gegenstandswerkzeug durchgeführt wird, das als ein Formwerkzeug und als ein zu dem Formwerkzeug korrespondierendes

Presswerkzeug ausgebildet und eingerichtet ist, wobei die Biomassefaserstoffe (18) in dem Formwerkzeug zu dem Gegenstandsformling geformt werden und mit dem Presswerkzeug unter Ausbildung eines Presswerkzeugpressdrucks gepresst werden, wobei der Presswerkzeugpressdruck im Bereich von 0,5 bar bis 22 bar liegt, vorzugsweise im Bereich von 1 bar bis 8 bar.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formgebungsprozess (VI) ausgewählt ist aus einem oder mehreren der nachfolgenden Verfahren: Spritzgussverfahren, Extrusionsverfahren, Pressverfahren oder Tiefzieh- und Blasformverfahren.
12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** mittels der Vorbehandlung (IV) der nachwachsenden Biomasse (15) in Biomassefaserstoffe (18) in Verbindung mit dem Formgebungsprozess (VI) und/oder der thermischen Behandlung (VII) derart die Eigenschaften des formstabilen Gegenstandes (10) einstellbar sind, dass die Härte, die Formstabilität und/oder die Wasserfestigkeit, in Abhängigkeit von der Temperatur, dem Pressdruck, der Stoffdichte und/oder dem Mahlgrad, variierbar sind.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermische Behandlung (VII) des Gegenstandsformlings unter Ausbildung eines Trocknungspressdrucks auf den Gegenstandsformling erfolgt, wobei der Trocknungspressdruck im Bereich von 0,3 bar bis 10 bar liegt, vorzugsweise im Bereich von 0,5 bar bis 5 bar.
14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermische Behandlung (VII) des Gegenstandsformlings ohne Ausbildung eines Trocknungspressdrucks auf den Gegenstandsformling erfolgt.
15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohstoffe der nachwachsenden Biomasse (15) ausgewählt sind aus mindestens einem oder einer Kombination der langfaserigen lignocellulosehaltigen Pflanzen, insbesondere aus Gräsern, Getreide, Stroh, Bast-, Blätter-, Samen- und/oder Samenhülsenfasern, besonders bevorzugt aus Miscanthus, Hanf, Stroh, Haferspelze, Flachs, Sisal und/oder Bambus.

## Claims

1. Method for manufacturing a dimensionally stable ob-

ject (10), preferably a container, comprising the following steps:

- Providing renewable biomass (15), (I), wherein the renewable biomass (15) contains at least fibres (16) with lignin (17), in particular cellulose fibres with lignin (17), hemicelluloses and cellulose, and wherein the renewable biomass is selected from the group of lignocellulose-containing annual plants, comprising at least lignin-containing central lamellae (21), cell gussets (25), primary and secondary walls,
  - comminuting the renewable biomass (15), (II),
  - adding water (III) to the renewable biomass (15),
  - pre-treatment (IV) the renewable biomass (15) by substantially converting the renewable biomass (15) into biomass fibrous material (18) by means of a high-temperature steam digestion process (IVb) providing a steam, wherein the temperature of the steam used is in the range from 150°C to 280°C, preferably in the range from 175°C to 250°C, and wherein the digestion time by means of the steam is in the range from 10 s to 900 s, preferably in the range from 20 s to 300 s, while retaining a majority of the lignin (17) in the fibres (16), and while dissolving and discharging a part of the cellulose and the hemicelluloses, wherein the relative amount of lignin (17) is increased,
  - providing the biomass fibrous material (18), (V) in a moulding process (VI) with an object mould to form an object moulding,
  - thermally treating (VII) the object moulding by transferring at least partially the lignin (17) contained in the fibres (16) of the biomass fibrous material (18) to the outer surface (23) of the fibres (16), wherein the lignin (17) is made accessible by tearing open the lignin-containing central lamellae, the cell gusset, the primary and/or the secondary walls,
  - creating an at least partially irreversible bond (VIII) of the object moulding by cross-linking the fibres (16) of the biomass fibrous material (18) with one another by means of the lignin (17).
2. Method according to claim 1, **characterised in that** during the pre-treatment (IV) the cellulose and the hemicelluloses are at least partially discharged from the method by at least partially dissolving the cellulose and the hemicelluloses out of the renewable biomass (15), and **in that** the lignin (17) is retained as completely as possible when the renewable biomass (15) is converted into biomass fibrous material.
3. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** in the pre-treatment (IV), starting from the renewable biomass, 50 % to 100 %, preferably 60 %

to 90 %, of the lignin, 10 % to 90 %, preferably 30 % to 70 %, of the cellulose and 10 % to 70 %, preferably 30 % to 50 %, of the hemicelluloses remain in the biomass fibrous material (18).

4. Method according to one or more of claims 1 to 3, **characterised in that** the pre-treatment (IV) of the renewable biomass (15) into biomass fibrous material (18) is carried out by means of a mechanical treatment (IVa), wherein the mechanical treatment (IVa) comprises a grinding of the renewable biomass (15).
5. Method according to claim 4, **characterised in that** the mechanical treatment (IVa) is carried out by means of a refiner with grinding plates, wherein a plate spacing of the grinding plates of the refiner is selected in the range from 0.05 mm to 5 mm, preferably in the range from 0.1 mm to 0.5 mm, and wherein a stock consistency of the renewable biomass (15) is selected in the range from 0.5 % to 10 %, preferably in the range from 1 % to 5 %.
6. Method according to one or more of claims 1 to 5, **characterised in that** in the pre-treatment (IV) the comminuted lignocellulose-containing annual plants are broken up in such a way that their lignin-containing central lamellae, the cell gussets and the primary and secondary walls are at least partially broken up, wherein the lignin (17) is retained as completely as possible during the conversion of the renewable biomass (15) into biomass fibrous material and is exposed for subsequent cross-linking in the thermally treating process (VII).
7. Method according to claim 6, **characterised in that** the exposed lignin (17) is at least substantially completely configured and adapted for creating an irreversible bond (VIII) of the object moulding, wherein the accessibility of the lignin (17) is increased.
8. Method according to claim 1, **characterised in that** the pre-treatment (IV) of the renewable biomass (15) into biomass fibrous material (18) is performed by means of a high-yield pulping process (IVd), preferably by a carbonate pulping process, wherein the temperature in the high-yield pulping process (IVd) is in the range of 100 °C to 215 °C preferably in the range from 135 °C to 175 °C, and wherein the digestion time is in the range from 15 min to 150 min, preferably in the range from 20 min to 60 min, and wherein a digestion medium with a concentration in the range from 5 % to 35 % is used, preferably in the range from 10 % to 25 %, preferably Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in solution is used as the digestion medium.
9. Method according to one or more of claims 1 to 8, **characterised in that** downstream of the pre-treatment (IV) a grinding (IVa') is carried out, wherein the

grinding (IVa') is carried out by means of a refiner with grinding plates, wherein a plate spacing of the grinding plates of the refiner is selected in the range from 0.05 mm to 5 mm, preferably in the range from 0.1 mm to 0.5 mm, and wherein a stock consistency of the renewable biomass (15) is selected in the range from 0.5 % to 10 %, preferably in the range from 1 % to 5 %.

10. Method according to one or more of claims 1 to 9, **characterised in that** the moulding process (IVa) is carried out with the object mould, which is configured and adapted as a moulding tool and as a pressing tool corresponding to the moulding tool, wherein the biomass fibrous materials (18) are formed in the moulding tool as the object moulding and are pressed with the pressing tool to apply a pressing tool pressing pressure, wherein the pressing tool pressing pressure is in the range from 0.5 bar to 22 bar, preferably in the range from 1 bar to 8 bar.
11. Method according to one or more of claims 1 to 10, **characterised in that** the moulding process (VI) is selected from one or more of the following processes: injection moulding process, extrusion process, compression moulding process or thermoforming and blow moulding process.
12. Method according to one or more of claims 1 to 11, **characterised in that**, by means of the pre-treatment (IV) of the renewable biomass (15) to biomass fibrous material (18) in conjunction with the moulding process (VI) and/or the thermally treating (VII), the properties of the dimensionally stable object (10) are adjustable in such a way that the hardness, the dimensional stability and/or the water resistance are variable depending on the temperature, the pressing pressure, the stock consistency and/or the degree of grinding.
13. Method according to one or more of claims 1 to 12, **characterised in that** the thermally treating (VII) of the object moulding is carried out with the formation of a drying pressure on the object moulding, the drying pressure being in the range from 0.3 bar to 10 bar, preferably in the range from 0.5 bar to 5 bar.
14. Method according to one or more of claims 1 to 12, **characterised in that** the thermally treating (VII) of the object moulding is carried out without the formation of a drying pressure on the object moulding.
15. Method according to one or more of claims 1 to 14, **characterised in that** the raw materials of the renewable biomass (15) are selected from at least one or a combination of the long-fibre lignocellulose-containing plants, in particular from grasses, grains, straw, bast, leaf, seed and/or seed husk fibres, par-

particularly preferably from miscanthus, hemp, straw, oat husk, flax, sisal and/or bamboo.

## Revendications

1. Procédé de fabrication d'un objet indéformable (10), de préférence un récipient, comprenant les étapes suivantes :

- mise à disposition d'une biomasse renouvelable (15), (I), la biomasse renouvelable (15) contenant au moins des fibres (16) avec de la lignine (17), en particulier des fibres de cellulose avec de la lignine (17), des hémicelluloses et de la cellulose, et la biomasse renouvelable étant choisie dans le groupe des plantes annuelles contenant de la lignocellulose, comprenant au moins des lamelles centrales (21) contenant de la lignine, des goussets cellulaires (25), des parois primaires et secondaires,

- broyage de la biomasse renouvelable (15), (II),  
- mélange de la biomasse renouvelable (15) avec de l'eau (III),

- prétraitement (IV) de la biomasse renouvelable (15) en transformant essentiellement la biomasse renouvelable (15) en matières fibreuses de biomasse (18) au moyen d'un processus de digestion à la vapeur à haute température (IVb) fournissant de la vapeur, la température de la vapeur utilisée étant entre 150°C et 280°C, de préférence entre 175°C et 250°C, et la durée de digestion au moyen de la vapeur étant entre 10 s et 900 s, de préférence entre 20 s et 300 s, avec conservation d'une grande partie de la lignine (17) dans les fibres (16), et avec dissolution et évacuation d'une partie de la cellulose ainsi que des hémicelluloses, la proportion relative de la lignine (17) étant augmentée,

- mise à disposition des matières fibreuses de biomasse (18), (V) dans un processus de mise en forme (VI) avec un outil d'objet en formant un objet moulé,

- traitement thermique (VII) de l'objet moulé en déplaçant au moins par secteur la lignine (17) contenue dans les fibres (16) des matières fibreuses de biomasse (18) sur la surface extérieure (23) des fibres (16), une accessibilité de la lignine (17) étant donnée par la déchirure des lamelles centrales contenant de la lignine, du gousset cellulaire, des parois primaires et/ou secondaires,

- création d'une liaison (VIII) au moins partiellement irréversible de l'objet moulé par réticulation des fibres (16) des matières fibreuses de biomasse (18) entre elles au moyen de la lignine (17).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, lors du prétraitement (IV), la cellulose ainsi que les hémicelluloses sont évacuées au moins partiellement du procédé, en extrayant la cellulose ainsi que les hémicelluloses au moins partiellement de la biomasse renouvelable (15), et **en ce que** la lignine (17) est conservée le plus complète possible en transformant la biomasse renouvelable (15) en matières fibreuses de biomasse.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, lors du prétraitement (IV), en partant de la biomasse renouvelable, de 50 % à 100 %, de préférence de 60 % à 90 %, de la lignine, de 10 % à 90 %, de préférence de 30 % à 70 %, de la cellulose ainsi que de 10 % à 70 %, de préférence de 30 % à 50 %, des hémicelluloses est restée dans les matières fibreuses de biomasse (18).

4. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le prétraitement (IV) de la biomasse renouvelable (15) en matières fibreuses de biomasse (18) est effectué au moyen d'une préparation mécanique (IVa), la préparation mécanique (IVa) comprenant un broyage de la biomasse renouvelable (15).

5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la préparation mécanique (IVa) est réalisé au moyen d'un raffineur avec des plaques de broyage, une distance des plaques des plaques de broyage du raffineur est choisie entre 0,05 mm et 5 mm, de préférence entre 0,1 mm et 0,5 mm, et une densité de matière de la biomasse renouvelable (15) est choisie entre 0,5 % et 10 %, de préférence entre 1 % et 5 %.

6. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que**, lors du prétraitement (IV), les plantes annuelles contenant de la lignocellulose et broyées sont brisées de telle sorte que leurs lamelles centrales contenant de la lignine, les goussets cellulaires et les parois primaires et secondaires sont brisés au moins partiellement, la lignine (17) étant conservée le plus complète possible lors de la transformation de la biomasse renouvelable (15) en matières fibreuses de biomasse et étant dégagée pour la réticulation ultérieure lors du traitement thermique (VII).

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la lignine (17) exposée est configurée et adaptée au moins essentiellement entièrement pour produire une liaison irréversible (VIII) de l'objet moulé, l'accessibilité de la lignine (17) étant augmentée.

8. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le prétraitement (IV) de la biomasse renouvelable

- ble (15) en matières fibreuses de biomasse (18) est effectué au moyen d'un procédé de digestion à haut rendement (IVd), de préférence par un procédé de digestion au carbonate, la température lors du procédé de digestion à haut rendement (IVd) étant entre 100 °C et 215 °C, de préférence entre 135 °C et 175 °C, et la durée de digestion étant entre 15 min et 150 min, de préférence entre 20 et 60 min, et un moyen de digestion est utilisé avec une concentration entre 5 % et 35 %, de préférence entre 10 % et 25 %, de préférence Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en solution est utilisé comme moyen de digestion.
- 5
- 10
11. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce qu'**un broyage (IVa') est effectué en aval du prétraitement (IV), le broyage (IVa') est effectué au moyen d'un raffineur avec des plaques de broyage, une distance des plaques de broyage de broyage du raffineur est choisie entre 0,05 mm et 5 mm, de préférence entre 0,1 mm et 0,5 mm, et une densité de matière de la biomasse renouvelable (15) est choisie entre 0,5 % et 10 %, de préférence entre 1 % et 5 %.
- 15
- 20
10. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** le processus de moulage (IVa) est réalisé avec l'outil d'objet qui est configuré et adapté comme un outil de moulage et comme un outil de pressage correspondant à l'outil de moulage, les matières fibreuses de biomasse (18) sont moulées dans l'outil de moulage en l'objet moulé et sont pressées avec l'outil de pressage en créant une pression de pressage d'outil de pressage, la pression de pressage d'outil de pressage étant entre 0,5 bar et 22 bar, de préférence entre 1 bar et 8 bar.
- 25
- 30
- 35
11. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** le processus de moulage (VI) est choisi parmi un ou plusieurs des procédés suivants : Procédé de moulage par injection, procédé d'extrusion, procédé de pressage ou procédé d'emboutissage et de moulage par soufflage.
- 40
12. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce qu'**au moyen du prétraitement (IV) de la biomasse renouvelable (15) en matières fibreuses de biomasse (18) en liaison avec le processus de moulage (VI) et/ou le traitement thermique (VII), les propriétés de l'objet indéformable (10) sont réglables de telle sorte que la dureté, la stabilité de forme et/ou la résistance à l'eau, en fonction de la température, de la pression de pressage, de la densité de la matière et/ou du degré de broyage, peuvent être modifiées.
- 45
- 50
- 55
13. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le traitement thermique (VII) de l'objet moulé est effectué en formation
- d'une pression de pressage de séchage sur l'objet moulé, la pression de pressage de séchage étant entre 0,3 bar et 10 bar, de préférence entre 0,5 bar et 5 bar.
14. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le traitement thermique (VII) de l'objet moulé est effectué sans formation d'une pression de pressage de séchage sur l'objet moulé.
15. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce que** les matières premières de la biomasse renouvelable (15) sont choisies parmi au moins une ou une combinaison des plantes lignocellulosiques à fibres longues, en particulier parmi les herbes, les céréales, la paille, les fibres de raphia, de feuilles, de graines et/ou de gousses de graines, de manière particulièrement préférée parmi le miscanthus, le chanvre, la paille, l'avoine, le lin, le sisal et/ou le bambou.

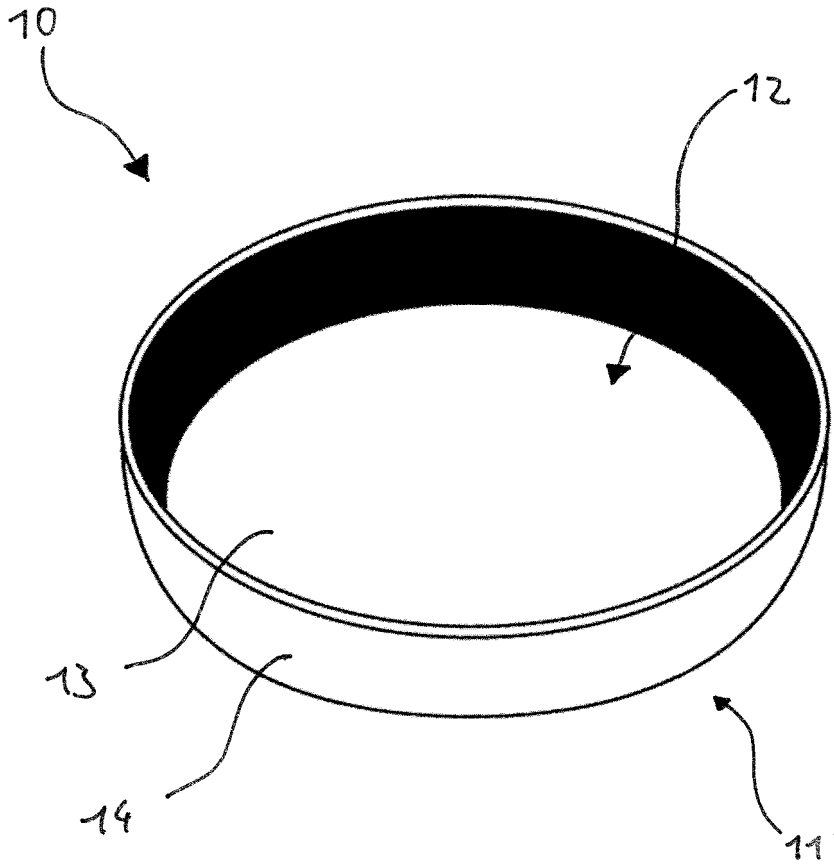


Fig. 1

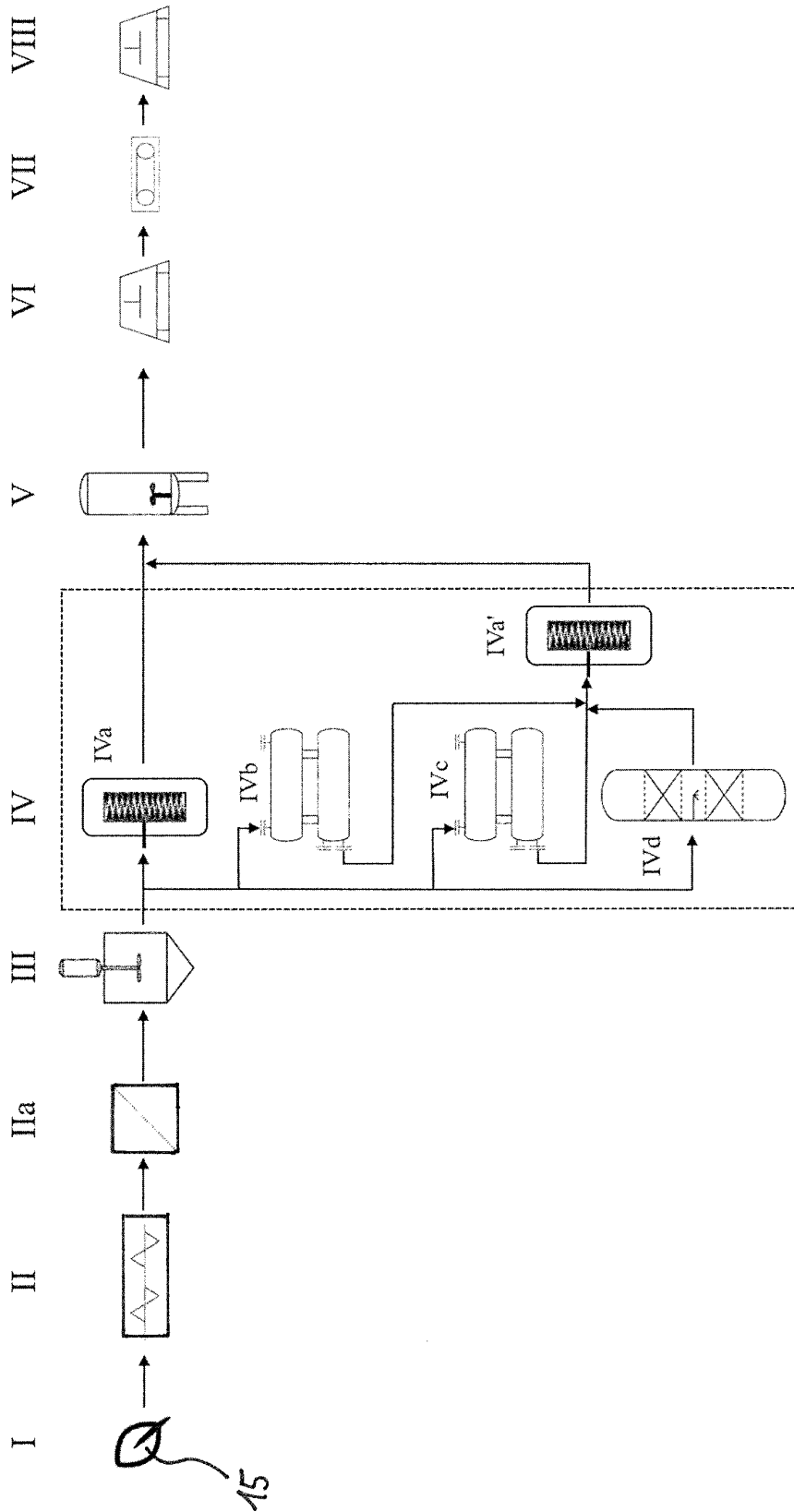


Fig. 2

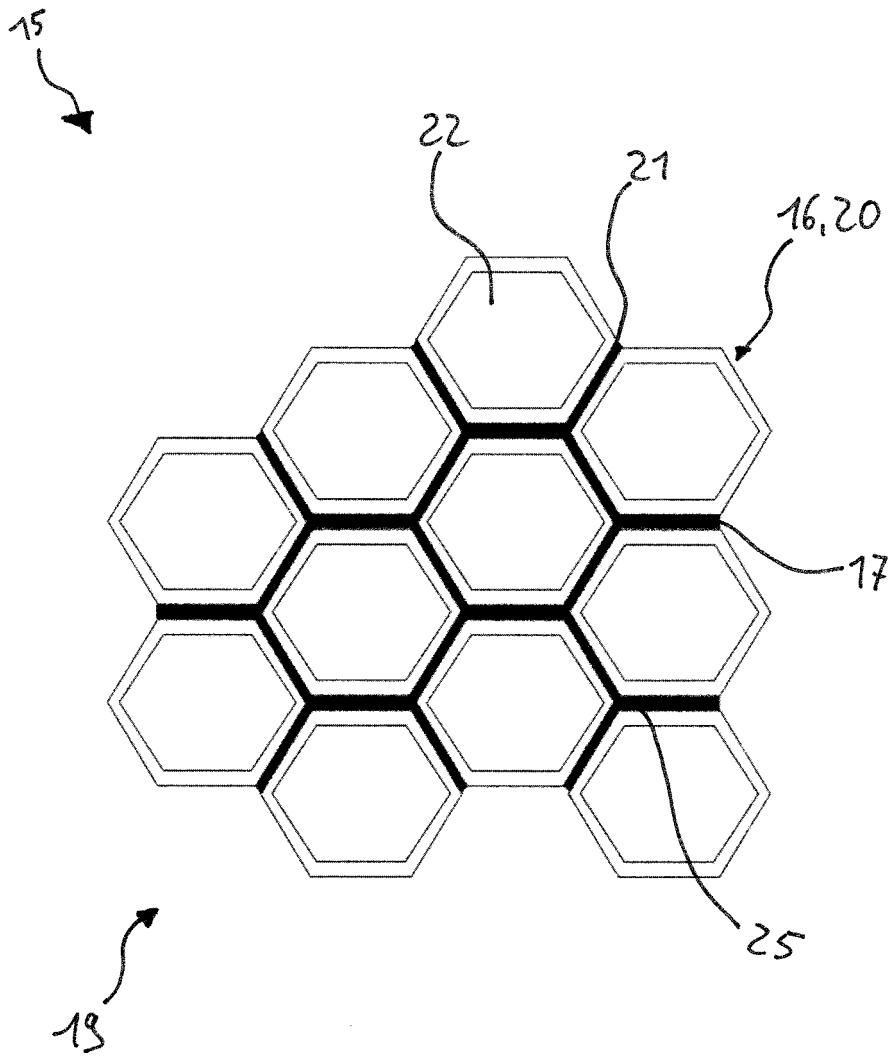


Fig. 3

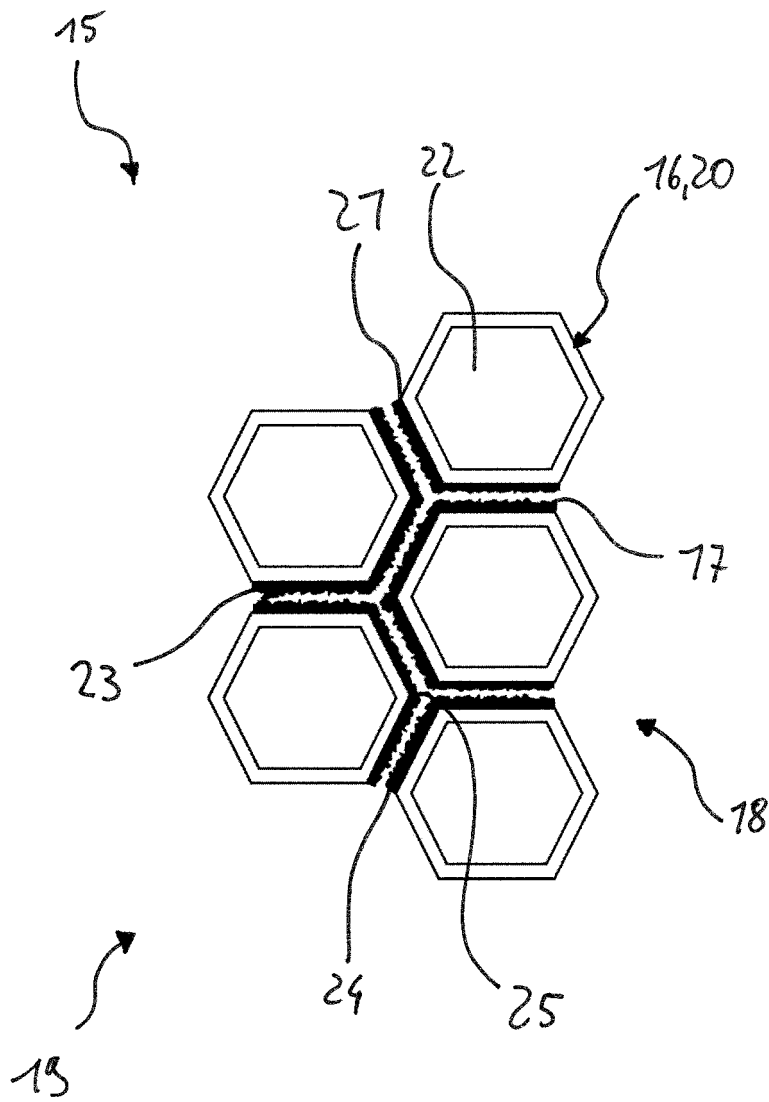


Fig. 4

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 0373726 A2 [0010]