



(10) **DE 10 2021 004 670 A1** 2022.03.31

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2021 004 670.6**

(22) Anmeldetag: **15.09.2021**

(43) Offenlegungstag: **31.03.2022**

(51) Int Cl.: **C08L 25/06 (2006.01)**

**C08L 97/00 (2006.01)**

**C08J 9/228 (2006.01)**

**C08J 11/10 (2006.01)**

(66) Innere Priorität

**10 2020 005 945.7 28.09.2020**

(71) Anmelder:

**Jackon Application GmbH, 23970 Wismar, DE**

(74) Vertreter:

**Kaewert, Klaus, 40593 Düsseldorf, DE**

(72) Erfinder:

**Tank, Claus, Dr., 23560 Lübeck, DE; Plate, Mark,  
Dr., 21335 Lüneburg, DE; Falge, Joachim, 23689  
Luschendorf, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Thermische Depolymerisation von Lignin im Extruder und Einarbeitung in Polystyrol**

(57) Zusammenfassung: Nach der Erfindung wird Lignin im Extruder zugleich depolymerisiert und in Polystyrol homogen eingemischt.

## Beschreibung

**[0001]** (1) Die Erfindung betrifft die Herstellung von depolymerisierten Lignin und Einbringung in Polymermischungen, vorzugsweise in Polystyrolmischungen und weiter bevorzugt in Polystyrolschäume, noch weitere bevorzugt für XPS-Platten und EPS-Schaumteilen insbesondere zu Bauzwecken

**[0002]** Lignine werden aus Holz, Holzabfällen, Rinde, Bagasse und anderer Biomasse über industrielle oder experimentelle Verfahren gewonnen. Es ist zu beachten, dass Lignine, die aus Biomasse isoliert und gewonnen werden und beispielhaft in Harzformulierungen geprüft worden sind, nicht mit dem natürlichen Lignin identisch sind, das in der ursprünglichen Biomasse vorkommt, sondern durch den Produktionsprozess verändert werden. Einige Beispiele von klassischen Produktionsprozessen für aus Biomasse gewonnenen Ligninen sind SODA-, Kraft-, und Sulfit-Prozess. Daneben werden die folgenden Verfahren alternativ zur Gewinnung von Lignin eingesetzt: Solvent-Verfahren, ASAM - (Alkali-Sulfit/Lösemittel)- Verfahren, Aufschluss mit Säuren, Aufschluss mit Säuren in Lösemittel, Aufschluss mit Alkalien (in Ammoniak oder Ethanolamin), Heißwasser-Explosion-Aufschluss, Heißwasser-Dampf-Aufschluss, Ammoniak-Aufschluss und enzymatische Verfahren.

**[0003]** (2) Polystyrol (PS) ist ein thermoplastischer Kunststoff. Thermoplaste sind Kunststoffe, die unter Erwärmung erweichen und sich in dem Erweichungszustand verformen lassen und nach Abkühlung die erlangte Form behalten. Dieser Vorgang ist oft wiederholbar. Zu den Thermoplasten zählen zum Beispiel: Acrylnitril-Butadien-Styrol, (ABS), Polyamide (PA), Polylactat (PLA), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polycarbonat (PC), Polyethylenterephthalat (PET), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyetheretherketon (PEEK) und Polyvinylchlorid (PVC).

**[0004]** Weiter gehören zu den Thermoplasten die Massenkunststoffe Polyolefine (wie Polyethylen und Polypropylen) und Polystyrol. Polystyrol gibt es mit unterschiedlicher Beschaffenheit. Vorzugsweise ist hier ataktisches Polystyrol mit einem Erweichungspunkt bei etwa 100 Grad Celsius vorgesehen.

**[0005]** Als Kunststoff können auch Copolymere in Betracht. Die Copolymere sind aus verschiedenen Monomeren aufgebaut.

**[0006]** Üblicherweise werden die Polymere zusammen mit Additiven und Füllstoffen verarbeitet. Die Additive sollen dem gewünschten Produkt bestimmte Eigenschaften geben; zum Beispiel erhöhte Festigkeit und/oder erhöhte Alterungsbeständigkeit und/o-

der erhöhte Elastizität oder eine höhere Wärmebelastbarkeit. Weiter können sie dazu dienen die Verarbeitung zu erleichtern.

**[0007]** Die Additive können andere Kunststoffe, Substanzen, Gemische von Substanzen und vieles andere sein; zum Beispiel Fasern, Glaskügelchen, Späne usw.

**[0008]** Die Füllstoffe dienen dazu, den Kunststoff zu strecken.

**[0009]** (3) Mit XPS-Platten werden Polystyrolschaumplatten bezeichnet, die mittels eines Extruders so hergestellt werden,

-daß die Einsatzstoffe einschließlich Polystyrol, Additive und Füllstoffe aufgegeben werden,

-das Polystyrol aufgeschmolzen und mit den anderen Einsatzstoffen vermischt wird

-die Treibmittel in die flüssige Polystyrolschmelze eingegeben werden

-daß aus dem Extruder durch eine Düse ein endloser Schmelzestrang in eine Umgebung geringeren Druckes austritt und aufschäumt

-der nach Formgebung in einem Kalibrator und

-nach ausreichender Abkühlung als Extrusionsstrangspanabhebend bearbeitet wird

-und zu Platten abgelängt wird.

**[0010]** Mit EPS-Platten werden Polystyrolschaumplatten bezeichnet, die durch Expansion von treibmittelbeladenen Polystyrolbeads (Polystyrolgranulat) hergestellt werden. Die treibmittelbeladenen Polystyrolbeads können auf zwei Wegen hergestellt werden können:

Im ersten Weg wird Monostyrol in einer wässrigen Suspension zu Polystyrolbeads polymerisiert und anschließend mit Treibmittel beladen.

**[0011]** Der zweite Weg sieht vor:

-Schmelzeerzeugung wie bei der XPS-Herstellung mit eingeschlossenem Treibmittel

-Austritt verschiedener endloser feiner Schmelzestränge mittels kleiner Düsen vor,

-wobei die Schmelze nach dem Austritt aus dem Extruder in eine Umgebung hohen Druck gelangt ohne zu expandieren und

-die Schmelzestränge zu Granulat zerkleinert werden. Das geschieht vorzugsweise unter Wasser

-das Granulat mit Treibmittel beladen wird

-das Granulat wird anschließend in einem Formteilautomaten zu einem Block verarbeitet. Das

geschieht in zwei Stufen nach Einfüllen des Granulats zum Vorschäumen sowie mit zeitlicher Verzögerung in den Formteilautomaten, beides durch Bedampfung des Granulates mit Heißdampf. Durch diese Bedampfung erweicht das Granulat, so daß die verschiedenen Partikel unter dem Druck in dem Formteilautomaten miteinander verschweißen. Nach ausreichender Abkühlung wird der Block aus dem Formteilautomaten entnommen und in Platten geschnitten.

**[0012]** Sowohl die XPS-Platten wie auch die (auf vorstehend beschriebenem Weg) erzeugten EPS-Platten sind herkömmlich mit einem Flammenschutz versehen, der herkömmlich als Zuschlag in den Extruder aufgegeben wird. Im Extruder findet eine gleichmäßige Verteilung des Flamm-schutzes in der Schmelze statt. Dementsprechend ist das Flamm-schutzmaterial auch gleichmäßig in den XPS-Platten und den EPS-Platten verteilt.

**[0013]** (4) Es gibt diverse Bemühungen, um Lignin als Additiv und/oder Füllstoff für die Kunststoffextrusion zu verwenden, dazu sollte das Lignin(-derivat) maximal mischbar mit dem zu verarbeitenden Polymer sein.

**[0014]** Dazu ist zum Beispiel eine Pyrolyse von Lignin als ein möglicher Ansatz angesehen worden. Bei dem Pyrolyse-Ansatz wird das Lignin zu weiter nutzbaren phenolartigen Harzen aufbereitet. Allerdings können Pyrolyseverfahren Kondensationsreaktionen verursachen, die hochkondensierte Strukturen erzeugen, wie zum Beispiel Kohle und Teer, anstatt depolymerisierte Ligninsegmente oder monomere Chemikalien. (EP 1311615).

**[0015]** (5) Es ist das Ziel dieser Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden und eine nachhaltige Depolymerisation und Einarbeitung des Lignins in den Kunststoff und für die angeführten Anwendungen zu erhalten. Der hier beschriebene Prozess ist insofern als nachhaltig zu bewerten, da er in einem Verfahren die Depolymerisation des Lignins und die Einarbeitung in den Kunststoff realisiert.

**[0016]** (6) Die WO 2014184273 beschreibt zwar eine Polyolefinmatrix mit einem eingemischtem Lignin. Es handelt sich jedoch um einen Vorschlag zur Modifizierung von WPC (woodplasticcomposition), das als Holzersatz angesehen werden kann.

**[0017]** (7) Die DE 102007054549 beschreibt auch eine Polyolefinmatrix für WPC mit einem eingemischtem biobasierenden Kunststoff aus Lignin.

**[0018]** Lignin fällt in großen Mengen bei der Cellulosegewinnung aus Holz an. Je nach Gewinnungsverfahren kommt das Lignin in unterschiedlichen Formen vor.

**[0019]** Die Ligninsulfonsäure (Lignosulfonsäure) kann hergestellt werden, indem man Lignin mit schwefliger Säure, Hydrogensulfit oder Sulfit umsetzt. Nach der DE2436166 können bei der Neutralisation der Ligninsulfonsäure Alkalimetallsalze und Erdalkalimetallsalze entstehen; zum Beispiel mit Na, K, Mg, Ca, Ba oder Ammoniumsulfaten.

**[0020]** (8) Die WO 2016/150780 befaßt sich mit der Ligningewinnung. Dort wird das Ligninsulfonat vorzugsweise in einer Menge von 1 bis 100 Gew-Teilen, vorzugsweise 10 bis 70 Gew-Teilen auf 100 Gew-Teile Monomere bezogen auf die Summe aller Monomere eingesetzt. Dabei zählt Ligninsulfonat nicht als Monomer. Ligninsulfonate sind die Salze von Ligninsulfonsäure (auch als Lignolsulfonsäure bezeichnet) lösliche Produkte der Umwandlung von Lignin mit Hilfe von schwefliger Säure oder Sulfiten. Die im Rahmen dieses Vorschlages verwendete Ligninsulfonsäure kann somit bei der Herstellung von Cellulose, ausgehend von Holz, als natürlichem Rohstoff, erhalten werden. Bei einer Stufe der Herstellung von Cellulose vermischt man das Lignin des Holzes mit schwefliger Säure. Bei dieser Behandlung wird das Lignin sulfoniert und in Ligninsulfonsäure umgewandelt, die dann mit einer geeigneten Base neutralisiert, die Bildung des entsprechenden Salzes ergibt. Je nach der verwendeten Base erhält man wasserlösliche Salze von Natrium, Ammonium, Calcium, Magnesium usw. der genannten Ligninsulfonsäure.

**[0021]** (9) Die Ligninsulfonate liegen im Allgemeinen in Form eines hellgelben bis dunkelgelbes Pulver vor. Erste Abspaltungen treten bei 50°C bis 110°C im Extruder auf, diese sind je nach Herstellungsverfahren unterschiedlich gestaffelt und im Großen und Ganzen eine Abspaltung von Wasser des vorgeschalteten Herstellungsprozesses des Lignins. Je nach Herkunft des Ursprungsproduktes (zum Beispiel unterschiedlichen Holzarten) sowie der Art des Herstellungsverfahrens zur Gewinnung des Lignins sind diese Prozesse einer Schwankung unterworfen und können bis zu einer maximalen Temperatur von 130°C bis 150°C festgestellt werden. Bei höheren Temperaturen über 200 Grad Celsius und darüber hinaus, zum Beispiel 250 - 300 Grad Celsius, tritt eine Abspaltung von phenolischen, aldehydischen und aliphatischen Molekülgruppen auf. Auch das Abspalten von organischen Säuren zwischen 300 - 400 Grad Celsius ist typisch.

**[0022]** Die Hauptphase des pyrolytischen Abbaus ist erreicht, das Makromolekül wird fragmentiert und führt zu den weiteren Abbauprodukten.

**[0023]** Ab 400 - 600 Grad Celsius werden die Abbauraten verstärkt mit der Entstehung von Kohle und Gas als reine Zersetzung verstanden. Ihr Mole-

kulargewicht beträgt vorzugsweise von 1.000 bis 70.000, insbesondere von 7.000 bis 52.000 g/mol.

**[0024]** (10) Die Unterschiede zwischen Ligninsulfonaten der DE 2436166 und der WO2016/150780 werden damit erklärt, daß das Lignin einer Holzsorte sich erheblich von dem Lignin anderer Holzsorten unterscheidet. Das heißt, das Ligninsulfonat der DE 2436166 muß von einem anderen Holz als das Lignin der WO 2016/150780 stammen.

**[0025]** (11) Ein anderes Verfahren ist das Organosolv-Verfahren. Mit diesem Verfahren bezeichnet man Holzaufschluss-Prozesse, bei denen organische Lösungsmittel eingesetzt werden, die die Begleitsubstanzen der Cellulose bevorzugt lösen. Zu den verwendeten Lösungsmitteln gehören Aceton, Methanol, Ethanol, Butanol, Ethylenglykol, Ameisensäure und Essigsäure.

**[0026]** (12) Ein weiteres Verfahren ist das Aquasolv-Verfahren. Bei diesem Verfahren wird Holz mit überhitztem Wasser versetzt und dabei durch Wechselwirkung des Wassers das Lignin plastifiziert. Ein Teil des Lignins geht dabei in Lösung. Die Heißwasserextraktion (225-245 Grad Celsius; 40 bar) von Holz-Hackschnitzeln liefert ein sehr reines Lignin.

**[0027]** Neben dem Cellulosegewinnungsverfahren mit Lignosulfonat hat das Gewinnungsverfahren mit Lignosulfat (Sulfatverfahren) die größte wirtschaftliche Bedeutung. Das Sulfatverfahren wird auch als Kraftverfahren bezeichnet, das zugehörige Lignin als Kraft-Lignin. Letztere Bezeichnung ist aus der Festigkeit des dabei hergestellten Papiers abgeleitet. Bei diesem Verfahren kann Holz von Bäumen wie auch andere Cellulose haltiges Material Anwendung finden. Das Holz wie auch die Pflanzen werden üblicherweise drei bis sechs Stunden bei 7 bis 10 bar in Natronlauge, Natriumsulfid und Natriumsulfat gekocht. Während des Kochens wird das Lignin gespalten und geht das Lignin in sogenannte Schwarzlauge (lösliches Alkali-Lignin) über. Die Schwarzlauge wird mit geeigneten Filtern von der Cellulose getrennt. Das Kochen und Eindampfen der Lauge führen zu einer erheblichen Geruchsbelästigung.

**[0028]** (13) Nach der Neutralisation fällt das Lignin in wässriger Form oder als Schlamm an. Das in wässriger Form anfallende Lignin ist wegen des Aufwandes zur Abscheidung des Lignins weniger als das als Schlamm anfallende Lignin zur Weiterverwendung geeignet. Der Schlamm wird eingedickt/eingetrocknet. Nach der Eindickung/Eintrocknung kann das Lignin in dicken Brocken anfallen, die zumeist staubfein aufgemahlen werden.

**[0029]** (14) Das Lignin ist schon verschiedensten industriellen Anwendungen zugeführt worden.

Bekannt ist die Verwendung für Vanillin, als Reinigungsmittel, als Flotationsmittel für Erze, als Dispergatoren für Farbstoffe, für Insektizide und Pestizide.

**[0030]** (15) Der Einsatz von Lignin hat sich für Polystyrolschäume noch nicht durchsetzen können. Das wird darauf zurückgeführt, daß Lignin in nennenswerten Zumischungsmengen zur Entmischung vom Polystyrol neigt.

**[0031]** (16) Auch diese Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, die Einmischung von Lignin zu verbessern. Die hier beschriebenen Lignin werden bei den meist angewendeten Verfahren zur Cellulose-Gewinnung gewonnen. Dazu gehören das Sulfat (oder Kraft-)verfahren, das Sulfitverfahren und das Sodaverfahren. In dem Rahmen hat sich die Erfindung den bei unterschiedlichen Cellulose-Gewinnung anfallenden Ligninen zugewandt, diese thermisch depolymerisiert und gleichzeitig in einen Kunststoff durch Extrusion eingearbeitet. Dem liegt die Überlegung zugrunde, daß sich das Lignin bei Veränderung seiner Beschaffenheit (molekulare Verteilung und Anteil von Ligninderivaten) in Mischung mit dem Polystyrol anders verhält. Die Erfindung hat die Beschaffenheit durch thermische Depolymerisierung durch Extrusion verändert.

**[0032]** Durch diese Depolymerisierung wird das mittlere Molekulargewicht des Lignin um mindestens 5% reduziert, vorzugsweise um mindestens 10%, noch weiter bevorzugt um mindestens 20% reduziert.

**[0033]** Überraschenderweise erhöht sich die Zumischbarkeit/Einmischbarkeit von Ligninen in Polystyrolschaum mit thermisch depolymerisierten Ligninen bei der Herstellung des Schaumes im Extruder unter den bei der Herstellung des Schaumes vorkommenden Drücken und Temperaturen.

**[0034]** Vorteilhafterweise kann die Depolymerisierung ohne Hilfsmittel wie zum Beispiel Lösungsmittel und/oder teuren Katalysatoren und/oder aggressiven Säuren und Laugen im Extruder erfolgen. Auch müssen keine Extremtemperaturen (> 300°C) angewendet werden. Das heißt, es kann zur Depolymerisierung allein durch Temperatur, Druck und Scherung im Extruder erfolgen.

**[0035]** Die Temperatur, liegt dabei zwischen 175 und 250 Grad Celsius, zum Beispiel bei 200 Grad Celsius, vorzugsweise zwischen 180 und 230 Grad Celsius, noch weiter bevorzugt zwischen 190 und 215 Grad Celsius. Der Druck kann dabei bis 350 bar betragen. Vorzugsweise liegt der Druck zwischen 50 und 250 bar, noch weiter bevorzugt zwischen 150 und 220 bar. Die Verformung ist vorzugsweise die durch einen Planetwalzenextruder oder

eine Doppelschnecke verursachte Verformung in Form von Scherung.

**[0036]** Ein weiterer Parameter für Depolymerisierung ist die Bearbeitungszeit. Die Bearbeitungszeit ist die Verweilzeit des Materials im Bereich der Maximaltemperatur ( $\pm 20^\circ\text{C}$ ) im Extruder. Sie ist abhängig vom Massedurchsatz und der Zylinderlänge des Bereichs mit der Maximaltemperatur.

**[0037]** Die Bearbeitungszeit kann zum Beispiel 0,5 bis 15 Minuten, vorzugsweise 1 bis 10 Minuten betragen.

**[0038]** Für die Umsetzung dieser Erfindung können verschiedene Extruderausführungen zum Einsatz kommen. Dies können Einschneckenextruder und bevorzugt Doppelschnecken-Extruder und Planetwalzenextruder sein.

**[0039]** Die Planetwalzenextruderbauweise umfaßt eine im Extrudergehäuse umlaufende Zentralspindel und Planetspindeln, die im Zwischenraum zwischen der Innenverzahnung des Gehäuses und der Außenverzahnung der Zentralspindel umlaufen. Dabei kämmen die Planetspindeln mit ihrer Außenverzahnung mit der Außenverzahnung der Zentralspindel und der Innenverzahnung des Gehäuses.

**[0040]** Einschnecken-Extrudern und Doppelschnecken-Extrudern sind für die Herstellung/Bearbeitung von Massenkunststoffen wohl bekannt.

**[0041]** Unter Druck, Erwärmung und Scherung kommt es zu einer Zerkleinerung der Lignin-Molekülketten und Bildung von niedermolekularen Verbindungen, wie phenolische, aldehydische und aliphatische Molekülgruppen. Üblicherweise sind zeitgemäße Extruder mit einer Temperierung versehen, so daß eine geeignete Temperatur eingestellt und kontrolliert werden kann bzw. ein Verkoken des Lignins vermieden wird. Darüber hinaus kann der Druck durch Veränderung des Extrusionswiderstandes eingestellt werden. Im einfachsten Fall wird dazu der Massedurchsatz verändert.

**[0042]** Die Verformung des Lignins ist in einem Einschneckenextruder gering. In einem Doppelschneckenextruder findet Zerteilen von Molekülketten durch Scherung statt.

**[0043]** Um einen gewünschten Depolymerisierungsgrad zu erreichen, sieht die Erfindung zwei Wege.

**[0044]** Auf dem einen Weg wird das Lignin immer wieder (im Kreis) durch einen kurzen Extruder geführt, bis nach wiederholtem Durchlauf der gewünschte Depolymerisierungsgrad erreicht ist. Das geschieht vorzugsweise in einem Laborextruder bei bestimmter Temperatur, zum Beispiel 200 Grad

Celsius, und einem bestimmten Druck, zum Beispiel 200 bar. Bei einer bestimmten Bearbeitungszeit bei Maximaltemperatur von zum Beispiel 0,5 Minuten ist eine ausreichende Depolymerisierung nach zum Beispiel 3maligem Durchlauf gegeben, um zum Beispiel 30Gew% Lignin in die Polystyrol-Einsatzmischung für eine XPS-Herstellung einzumischen.

**[0045]** Auf dem anderen Weg wird der zur Depolymerisierung vorgesehene Extruder immer weiter verlängert, bis sich der gewünschte Depolymerisierungsgrad bei einem einzigen Durchlauf einstellt. Zeitgemäße Extruder sind aus Modulen zusammengesetzt, so daß die Verlängerung durch den Anbau weiterer Module erfolgen kann. Der Extruder ist dann nur noch mit entsprechend langen Spindeln auszurüsten.

**[0046]** Vor Vorteil ist eine Kombination beider Verfahren, indem zunächst die Zahl notwendiger Durchläufe des Lignins durch einen Extruder bis zum Erreichen des gewünschten Depolymerisierungsgrades ermittelt wird und entsprechend dieser Durchlaufzahl eine Verlängerung des Extruders vorgenommen wird, so daß mit einem einzigen Durchlauf die gewünschte Depolymerisierung entsteht. Zur Ermittlung der notwendigen Bearbeitungsdauer im Extruder werden vorzugsweise Laborextruder eingesetzt. Laborextruder unterscheiden sich von den Extrudern für den Normalbetrieb in der Baugröße. Die Baugröße wird bei Planetwalzenextruder anhand des Teilkreisdurchmessers der Verzahnung des die Zentralspindel und die Planetspindeln umgebenden, innen verzahnten Gehäuses. Üblicherweise haben die Laborextruder die geringste kommerzielle Baugröße.

**[0047]** Vorteilhafterweise läßt sich nach der Erfindung ein Zumischungsanteil an Lignin zum Polystyrol erreichen, der zum Beispiel größer ist als 15Gew% oder größer als 25Gew% oder größer als 30 Gew% oder größer als 50Gew%, bezogen auf die Gesamtmenge der Mischung im Extruder zum Zeitpunkt der Zumischung, ohne daß eine Entmischung erkennbar ist.

**[0048]** Wahlweise erfolgt die Zumischung von Lignin ratierlich, also in Abständen bezogen auf die Extruderlängsachse, um die Vermischung zu verbessern.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 1311615 A [0014]
- WO 2014184273 A [0016]
- DE 102007054549 [0017]
- DE 2436166 [0019, 0024]
- WO 2016150780 A [0020, 0024]
- WO 2016/150780 [0024]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Vermeidung der Entmischung von Lignin bei der Verarbeitung von ataktischem Polystyrol in einem Extruder unter Zumischung von Lignin, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Lignin zugemischt wird, das mindestens teilweise thermisch im Extruder depolymerisiert worden ist, und in das Polystyrol eingemischt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Lignin eingesetzt wird, das in einem der folgenden Verfahren gewonnen wurde

- Kraft- (Sulfat-)
- Soda- Verfahren,
- Sulfit-Verfahren ,
- Organosolv- Verfahren
- Aquasolv-Verfahren

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Lignin eingesetzt wird, das schon teilweise depolymerisiert ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bearbeitungstemperatur im Extruder 175 bis 250 Grad Celsius und/oder der Druck bis 200 bar und/oder die Bearbeitungszeit 0,5 bis 10min beträgt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zugabe des Lignins über einen Seitenarmextruder zum Extruder erfolgt, der das Lignin zugleich durch Druck und Temperatur und Verformungsarbeit depolymerisiert.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß in einem Laborextruder durch wiederholten Durchlauf des Lignins die Bearbeitungsdauer des Lignins für eine ausreichende Depolymerisierung ermittelt wird und anschließend die Länge des Bereichs mit maximaler Temperatur ( $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ) so gewählt wird, daß die vorher festgelegte Bearbeitungsdauer im Extruder eingehalten wird.

Es folgen keine Zeichnungen