



„Untersuchungen zur Kompostierung von mit Härtebildnern bzw. Schwermetallen beladenen, chemisch modifizierten Naturfasermaterialien“

Nicole Pausch, Bernhard Gemende, Anja Gerbeth, Arne Engelhardt, Nadine Haupt, Matthias Leiker

1 Problemstellung und Gegenstand des Vorhabens

In der Abwasserbehandlung bedarf es aufgrund des teilweise sehr komplexen Spektrums an Inhaltsstoffen (Schwermetalle, Härtebildner, Schwebstoffpartikel) häufig mehrstufiger Aufbereitungsverfahren, um Brauch- bzw. Abwasser wieder in die Umwelt einleiten zu können bzw. erneut für den Menschen nutzbar zu machen. Insbesondere bei kleineren, dezentralen oder zeitlich begrenzten Anwendungen ist jedoch der hohe apparatetechnische Aufwand von mehrstufigen Reinigungsverfahren oft nicht gerechtfertigt und wirtschaftlich auch nicht sinnvoll. Als Alternativmöglichkeit für solche speziellen Einsatzfelder wurde, in einem durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Programm PRO INNO II geförderten Vorhaben, eine Ionenaustausch-Filterpatrone aus nachwachsenden Rohstoffen entwickelt, die Ionenaustausch zur Entfernung gelöster Kationen und gleichzeitig Partikel-Filtration in einer preiswerten, kompakten Trenneinheit realisiert [DE 10 2007 003 410 A1, 2008]. Dabei werden die Ionenaustauscheigenschaften durch die chemische Modifizierung der Naturfasermaterialien (Einbau bindungsaktiver Ladungszentren durch die Veresterung freier OH-Gruppen in der Fasermatrix) gezielt herbeigeführt. Die Tiefenfiltrationswirkung gegenüber Schwebstoffen wird durch eine spezielle Konfektionierung der modifizierten Naturfasermaterialien, z. B. Präzisionskreuzwicklung von Garnen bzw. mehrlagige Hülsenmanschette aus textilen Flächengebilden, erreicht [PAUSCH ET AL., 2008]

Aus dem Vermarktungskonzept der Filterpatrone für vorwiegend dezentrale bzw. temporäre Anwendungen resultiert ein Einwegprodukt, dessen einfache, preiswerte und nahezu schadlose Entsorgung Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg ist. Prinzipieller Vorteil dafür ist die Verwendung von biogenen Ausgangsstoffen, vorwiegend Hanffasern. In Abhängigkeit von Art und Grad der Beladung wurden im Rahmen des Projektes zwei verschiedene Entsorgungsstrategien verfolgt. Für Materialien, die speziell zur Abtrennung von Schwermetallen eingesetzt wurden und eine dementsprechend hohe Belastung aufweisen, ist eine thermische Verwertung in Form von Verbrennung bzw. Vergasung vorgesehen. [PAUSCH ET AL., 2007]

Im Unterschied dazu wird beim Einsatz der Filterpatronen zur Enthärtung von Trinkwasser oder auch Enteisung von Brunnenwasser als schadlose Entsorgungsmöglichkeit die Kompostierung bevorzugt. Die als Ausgangsstoff für die Herstellung der Filterpatronen, aufgrund ihrer guten mechanischen Eigenschaften (wie z. B. Reißfestigkeit [SCHENEK, 2000]), favorisierten Hanfmaterialien sind jedoch auch durch ihre biologische Beständigkeit bekannt. In [FUCHS, 2001] ist publiziert, dass Hanffasern über eine spezielle Cellulose-Schraubenstruktur verfügen und deshalb nur von speziellen Mikroorganismen abgebaut werden können und gut als strukturstabiles Substrat für den Kompostzusatz geeignet sind. Somit empfiehlt sich eine Kompostierung dieser Fasern nur in Verbindung bzw. als Co-Kompostierung mit anderen schnell kompostierbaren Stoffen, wie z. B. Klärschlamm. In den nachfolgenden Ausführungen werden dazu die Ergebnisse ausgewählter Laborversuche unter Modellbedingungen vorgestellt.

2 Material und Methoden

Im Rahmen der Laborkompostierung unter Modellbedingungen erfolgten zwei Versuchsreihen mit je 4 Einzelansätzen, in denen die Hanffasern unter Zusatz von Klärschlamm als Nährstofflieferant und Fertigkompost als Animpfmaterial kompostiert wurden. Schwerpunkt der ersten Versuchsserie war die Untersuchung zum Einfluss verschiedener Behandlungs- bzw. Beladungszustände der Hanfgarne auf deren biologische Beständigkeit. Bei der zweiten Versuchsserie wurde dann das Stoffmengenverhältnis der Kompostkomponenten (Klärschlamm-, Fasermaterial) variiert.

2.1 Verwendete Mess- und Analyseverfahren

In Tab. 1 sind die wesentlichen, bei der Charakterisierung der Ausgangsmaterialien und Überwachung des Versuchsverlaufes eingesetzten Mess- und Analyseverfahren kurz zusammengefasst.

Tab. 1: Verwendete Mess- und Analyseverfahren

Parameter	Mess- bzw. Analyseverfahren
Beladung	Mikrowellenaufschluss (MLS 1200) mit HNO ₃ und H ₂ O ₂ und nachfolgend Atomabsorptionsspektroskopie (Analytik Jena Zeenit 700)
Trockensubstanzgehalt	thermogravimetrische Untersuchung (TA Instruments, TGA 2950) bzw. Einsatz eines Halogen-Feuchtebestimmers (Mettler-Toledo, HR83P)
Kohlenstoffgehalt	Bestimmung des Glühverlustes bei 550 °C im Muffelofen
Gesamtstickstoffgehalt	Bestimmung nach der Methode nach Kjeldahl (externe Analyse; EUROFINS-AUA GmbH, Jena)

2.2 Eigenschaften der zur Kompostierung verwendeten Materialien

1. Versuchsserie – Variation des Behandlungs- bzw. Beladungsstandes

Um den Einfluss der chemischen Modifizierung bzw. der Beladung mit bestimmten Ionen auf die biologische Zersetzungsrate direkt zu erfassen, wurden im ersten Kompostierungsansatz die Zugabemengen an Klärschlamm und Kompost konstant gehalten. Der Ansatz 1 erfolgte mit unbehandelten Hanffasergarnen als Referenzprobe (Gemisch aus Klärschlamm, Kompost und nicht modifizierten Hanffasergarnen). Die zweite Kompostierungseinheit wurde mit phosphorylierten, aber unbeladenen Garnen angesetzt. Für die anderen beiden Ansätze wurden die Hanfmaterialien vor der Kompostierung im Gleichgewichtsverfahren beladen: der Ansatz 3 mit Calcium, stellvertretend für die Härtebildner und der Ansatz 4 mit Nickel, repräsentativ für die Gruppe der Schwermetalle. Die beladenen Hanffasergarne wurden mit deionisiertem Wasser gespült und auf ca. 70 % der Wasserhaltekapazität getrocknet. Die auf 2 cm zugeschnittenen Garnstücke wurden gemäß den Stoffmengenverhältnissen in Tab. 2 mit dem Klärschlamm und dem Kompost vermischt.

Tab. 2: Kompostierungsansätze von verschiedenen behandelten Hanffasergarnen (1. Versuchsserie)

Bezeichnung	unbehandelt	phosphoryliert	Calcium beladen	Nickel beladen
Hanffasern [g TS bzw. feucht]	40 (155)	30 (150)	30 (150)	30 (150)
Klärschlamm [g TS bzw. feucht]	14 (60)	14 (60)	14 (60)	14 (60)
Kompost [g TS bzw. feucht]	9 (15)	9 (15)	9 (15)	9 (15)
Beladung [mg Me ²⁺ /g IAT)	keine	keine	34,4	37,5
Gesamtmasse [g feucht]	235	231	230	230

Intensive Programme “Renewable Energy Sources”

Trockensubstanz [Ma.-%]	30,1	29,7	29,7	30,5
-------------------------	------	------	------	------

2. Versuchsserie – Variation des Stoffmengenverhältnisses der Kompostkomponenten

In der zweiten Versuchsserie wurde die Zugabemenge an Klärschlamm variiert, um den Einfluss des Nährstoffangebotes auf die Kompostierbarkeit beladener Hanfgarne zu untersuchen. Dazu wurden jeweils zwei Proben mit Calcium bzw. Nickel beladen und diese mit jeweils 15 Vol.-% (wie Versuchsreihe 1) bzw. 30 Vol.-% Klärschlamm angesetzt (Tab. 3). Die Verfahrensweise bei der Beladung und der Vorbereitungsschritte für die Kompostierung erfolgten analog der ersten Versuchsserie.

Tab. 3: Kompostierungsansätze von mit Calcium bzw. Nickel beladenen Hanffasergarnen (2. Versuchsserie)

Bezeichnung	Ca 15/80	Ca 30/65	Ni 15/80	Ni 30/65
Hanffasern [ml]	640 (80 Vol.-%)	520 (65 Vol.-%)	640 (80 Vol.-%)	520 (65 Vol.-%)
Klärschlamm [ml]	120 (15 Vol.-%)	240 (30 Vol.-%)	120 (15 Vol.-%)	240 (30 Vol.-%)
Kompost [ml]	40 (5 Vol.-%)	40 (5 Vol.-%)	40 (5 Vol.-%)	40 (5 Vol.-%)
Beladung [mg Me ²⁺ /g Kompost)	17,5	22,9	25,0	33,7
Gesamtmasse [g]	249,1	294,9	234,7	269,2
Trockensubstanz [Ma.-%]	30,0	29,4	32,6	31,0
Kohlenstoffgehalt [Ma.-%]	75,1	65,1	67,3	64,4
Gesamtstickstoffgehalt [Ma.-%]	1,6	2,0	1,6	2,1
C/N-Verhältnis	47:1	33:1	42:1	31:1

2.3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung unter Modellbedingungen

Die verschiedenen Ansätze wurden jeweils in Kunststoffnetze gefüllt, welche in transparente PVC-Behälter eingebracht wurden (Abb. 1). Um während des mikrobiellen Abbaus aerobe Bedingungen zu gewährleisten, wurden die Kompostierungseinheiten über ein perforiertes Schlauchsystem belüftet (Versuchsserie 1: kontinuierliche Belüftung mit einem Volumenstrom von ca. 5 l/h, Versuchsserie 2: Belüftung in stündlichen Intervallen jeweils für 15 min). Das Temperaturverhalten jeder Kompostierungseinheit wurde über eine Temperaturmesssonde mit Datenlogger digital aufgezeichnet. Bei der ersten Versuchsserie waren die Kompostierungseinheiten in Styropor-Boxen eingebracht, um den Wärmeaustausch mit der Umgebung zu minimieren. Die zweiten Kompostierungsversuche erfolgten im Temperierschrank bei 33 °C.

Während der Versuchsdurchführung wurde täglich die Änderung der Trockenmasse durch Wägung der Kompostnetze ermittelt. Zur Korrektur von Feuchteverlusten erfolgte mindestens jeden dritten Tag die Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes mittels TGA (Firma TA Instruments Typ 2950). Bei Feuchtegehalten kleiner 50 % wurde dem Kompost Wasser zugegeben bis zu einem Wassergehalt von 55 % bis 65 %.

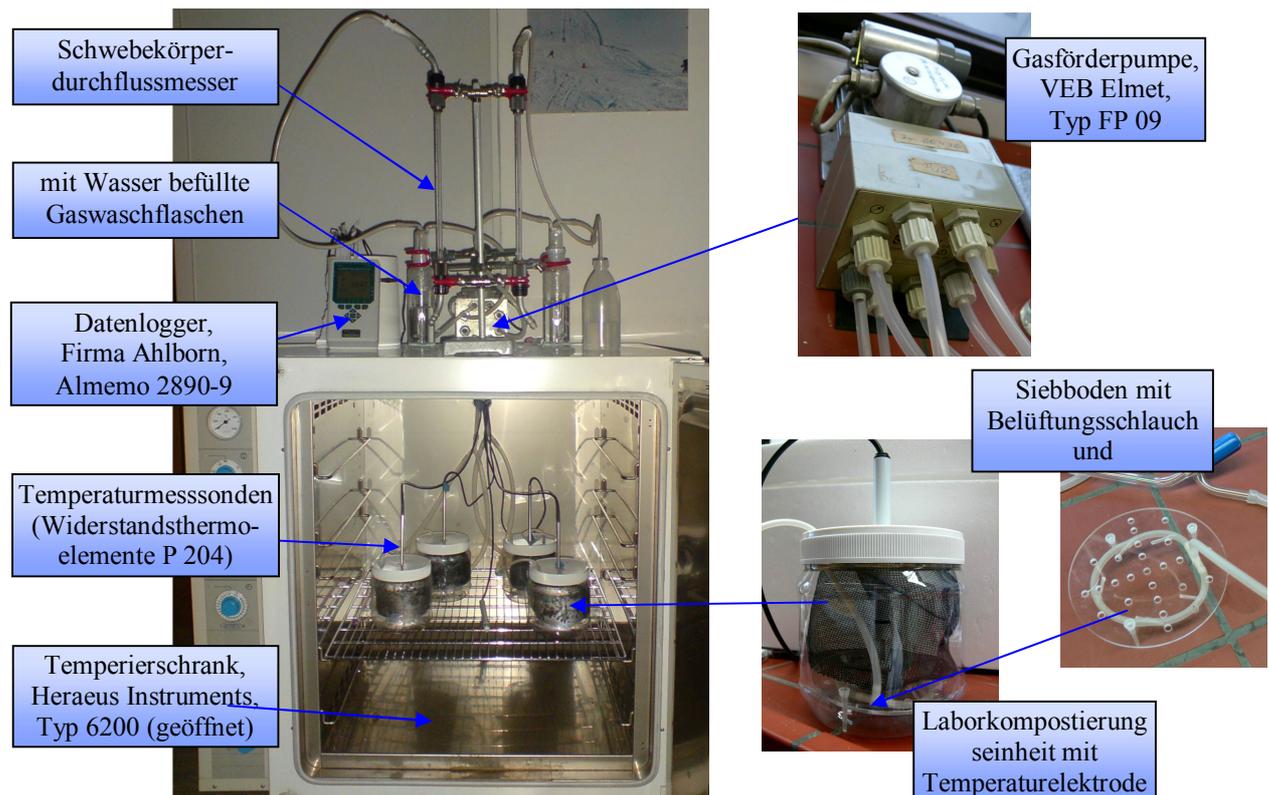


Abb. 1: Versuchsaufbau der 2. Kompostierungsversuchsserie

3 Ergebnisse der Kompostierungsversuche

Zur Bewertung der Kompostierbarkeit wurde vorrangig die Änderung der Gesamtmasse (bezogen auf die Trockensubstanz) herangezogen, die durch den biologischen Abbau von kohlenstoffhaltigem Strukturmaterial verursacht wird. Des Weiteren erfolgten im Abstand von zwei Wochen fotografische Aufnahmen zur visuellen Charakterisierung der Materialien.

3.1 Versuchsserie 1 – Variation des Behandlungs- bzw. Beladungszustandes

In der nachfolgenden Abb. 2 ist die relative Trockenmasse (Trockenmasse im Verhältnis zum Anfang des Versuches) der Kompostproben der ersten Versuchsserie dargestellt. Beim Vergleichsmaterial unbehandelte Hanffasergarne ist ein signifikanter Masseverlust von ca. 50 Ma.-% zu verzeichnen. Im Vergleich dazu ist unter Berücksichtigung der Schwankungsbreite der Messwerte von ± 10 Ma.-% (Messunsicherheit vorrangig durch die Probenahme für die Bestimmung der Trockensubstanz aufgrund der Inhomogenität des Kompostes) bei den Versuchsansätzen 2 bis 4 (Kompostierung von phosphorylierten unbeladenen bzw. mit Calcium bzw. mit Nickel beladenen Hanffasergarnen) keine wesentliche Änderung der Gesamtmasse eingetreten. Gleiches bestätigen auch die Fotografien der verschiedenen Kompostierungsstadien. Im Unterschied zu den unbehandelten Materialien, bei denen zu Versuchsende die Garnstruktur kaum noch erkennbar ist (Abb. 3), gibt es bei den behandelten und teilweise beladenen Hanffasergarnen kaum Hinweise auf eine mikrobielle Zersetzung. Dabei liegt die Vermutung nahe, dass bereits die Phosphorylierung der Hanffasergarne eine inhibierende Wirkung auf die Ansiedelung bzw. Vermehrung von Destruenten hat. Ursache dafür ist wahrscheinlich die Abspaltung von Phosphorsäure durch Hydrolyseeffekte, was eine Absenkung des pH-Wertes zur Folge hat. Dazu kommt, dass sich die hohe Salzkonzentration an der Faseroberfläche nachteilig auf den biologischen Abbau auswirken könnte.

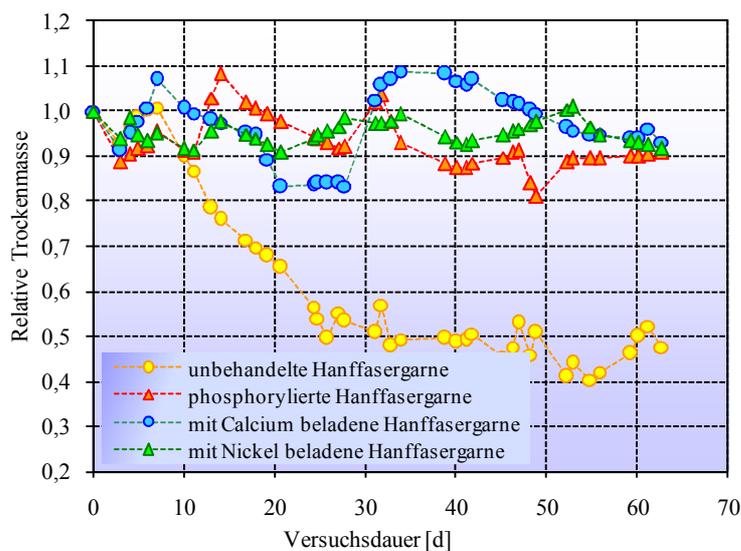
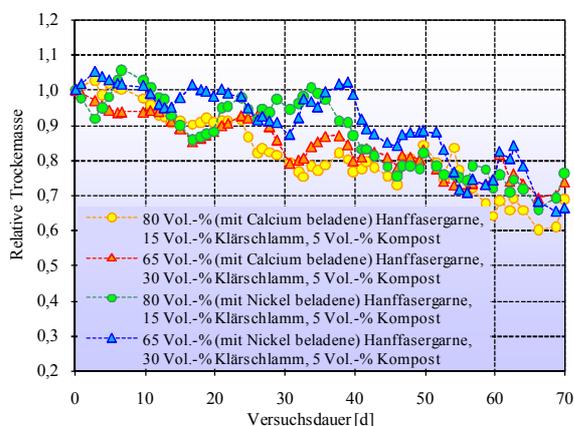


Abb. 2: Rotteverhalten der Hanffaserkomposte in Abhängigkeit vom Behandlungs- bzw. Beladungszustand
 Abb. 3: Kompostprobe unbehandelter Hanffasergarne nach 2 (oben) bzw. nach 12 Wochen (unten)

3.2. Versuchsserie 2 – Variation des Stoffmengenverhältnisses der Kompostkomponenten

Die Ergebnisse der zweiten Versuchsserie, bei der die Anteile der Zuschlagstoffe (Kompost, Klärschlamm) an der Gesamtprobe variiert wurden, sind in Abb. 4 dargestellt. Im Unterschied zum vorherigen Versuch ist auch bei den phosphorylierten und teilweise beladenen Hanffasergarnen nach einer Versuchsdauer von 70 Tagen ein deutlicher Masseverlust zwischen 20 und 30 Ma.-% festzustellen. Mögliche Ursache dafür könnte die um durchschnittlich 12 °C höhere Umgebungstemperatur in der Kompostierungseinheit sein, die mit ca. 33 °C im optimalen Arbeitsbereich für mesophile Bakterien liegt. Dementsprechend erfolgt der Abbau kohlenstoffhaltiger Verbindungen zwar verhältnismäßig langsam, aber kontinuierlich. Anhand der Versuchsergebnisse lässt sich jedoch kein signifikanter Einfluss der Zugabemenge an Klärschlamm bzw. Kompost auf die mikrobielle Aktivität erkennen. Eine Limitierung aufgrund von Nährstoffmangel kann weitestgehend ausgeschlossen werden.



Intensive Programme “Renewable Energy Sources”

Abb. 4: Rotteverhalten der Hanffaserkomposte in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis (Fasern, Klärschlamm und Kompost)

Abb. 5: Kompostprobe mit Calcium beladener(30/65) Hanffasergarne nach 2 (oben) bzw. nach 12 Wochen (unten)

Die biologische Zersetzung der Hanffasergarne lässt sich auch anhand der fotografierten Kompostproben (Abb. 5) erkennen. Im Vergleich zum Beginn der Kompostierung sind nach Ende der Versuchsdauer deutlich weniger Garnstrukturen zu erkennen.

4 Zusammenfassung

Für Einwegfilterpatronen wird neben der thermischen Verwertung insbesondere nach dem Einsatz zur Enthärtung als schadhlose Entsorgungsmöglichkeit die Kompostierung angestrebt. Als Ausgangsstoff für die Herstellung der Filterpatronen werden Hanfmaterialien verwendet, die für ihre guten mechanischen Eigenschaften und ihre biologische Beständigkeit bekannt sind. Dementsprechend wurden Versuche durchgeführt, bei denen Hanfgarne als Strukturmaterial mit Klärschlamm und Kompost gemeinsam kompostiert wurden.

Erster Schwerpunkt waren dabei Untersuchungen zum Einfluss der chemischen Vorbehandlung und ggf. Beladung mit ausgewählten Kationen (Nickel als Vertreter für die Schwermetalle bzw. Calcium als Vertreter für die Härtebildner) der Hanfgarne auf die mikrobielle Zersetzung. Bei den Versuchen zeigte sich, dass bereits die chemische Modifizierung (Phosphorylierung) der Hanffasergarne eine inhibierende Wirkung auf die Aktivität der Mikroorganismen hat und während der Versuchsdauer von 60 Tagen bei Raumtemperatur kein signifikanter Masseverlust zu verzeichnen war. Im Vergleich dazu reduzierte sich die Anfangsmasse unbehandelter Naturfasergarne um ca. 50 Ma.-%. Die vergleichsweise hohe biologische Stabilität nach Phosphorylierung ist zwar zunächst für die Kompostierung nachteilig, jedoch für die Anwendung der Filterpatronen in der Abwasseraufbereitung, insbesondere bei Wässern mit erhöhter biologischer Aktivität, von großem Vorteil.

Bei der zweiten Versuchsreihe lag der Schwerpunkt auf der Variation der Zuschlagmengen an Klärschlamm und Kompost. Es sollte untersucht werden, inwiefern durch die Erhöhung der Nährstoffgehalte die Kompostierung behandelter Naturfasermaterialien beeinflusst werden kann. Beim Vergleich der Kompostproben mit höherem bzw. niedrigerem Klärschlammanteil konnten während der Kompostierung jedoch keine Unterschiede bei der Abnahme der Gesamtmasse festgestellt werden. Jedoch konnte durch eine Erhöhung der Umgebungstemperatur auf konstant ca. 33 °C zumindest ein prinzipieller mikrobieller Abbau der phosphorylierten und beladenen Hanffasergarne zwischen 20 und 30 Ma.-% nachgewiesen werden.

5 Danksagung

Die dieser Publikation zugrundeliegenden Arbeiten erfolgten im Rahmen des durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) geförderten Projektes „Entwicklung einer Filterpatrone mit Ionenaustauscheigenschaften aus Naturfasern für die Entfernung von Schwermetallen und Härtebildnern aus wässrigen Medien“ (Förderkennzeichen KF 0266302 UL6). In diesem Zusammenhang bedanken wir uns vor allem bei der Projektbegleiterin Frau Dipl.-Chem. U. Liebing.

6 Literatur

Intensive Programme “Renewable Energy Sources”

DE 10 2007 003 410 A1: Ionenaustausch-Filterpatrone aus modifizierten Naturfasergarnen zur Entfernung von Partikeln, Schwermetallen und Härtebildnern in der Wasseraufbereitung und deren Herstellung,

Offenlegungsschrift, Offenlegungstag 31.08.2008.

FUCHS, J.: Kompost im Zierpflanzenbau, Biophyt AG, Forschungs- und Beratungszentrum für angewandte Agronomie und Ökologie, März 2001, Schweiz, www.biophyt.ch/documents/zierpflanzenbau.pdf, 2008.

PAUSCH, N.; GEMENDE, B.; MÜLLER, H.; HOFMANN, J.; FREIER, U.; KÖNIG, K.; LEIKER, M.: Entwicklung einer Filterpatrone mit Ionenaustauscheigenschaften aus Naturfasern für die Entfernung von Schwermetallen und Härtebildnern aus wässrigen Medien, Zwischenbericht zum Vorhaben(AiF PRO INNO II, Förderkennzeichen KF 0266302 UL6), Zwickau, 2007.

PAUSCH, N.; GEMENDE, B.; MÜLLER, H.; SCHLOSSARECK, A.; HOFMANN, J.; FREIER, U.; KÖNIG, K.; LEIKER, M.; FEUSTEL, M.: Herstellungsverfahren von Filterpatronen aus chemisch modifizierten Naturfasermaterialien und erste Untersuchungen zum Strömungsverhalten, EU Sokrates Intensiv-Programm „Environmental Impacts of Power Industry“, Pernink, 19.-23.5.2008.

SCHENEK, A.: Naturfaser-Lexikon, Frankfurt am Main, Deutscher Fachbuchverlag, 2000, ISBN 3-87150-638-9.

Adressen der Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Nicole Pausch, Prof. Dr.-Ing. Bernhard Gemende, Dipl.-Ing. (FH) Anja Gerbeth,
Dipl.-Ing. (FH) Arne Engelhardt, Dipl. Ing. (FH) Nadine Haupt
Westfälische Hochschule Zwickau, Postfach 201037, D-08012 Zwickau
Tel.: +49(0)375-536-1787 (1501); Fax: 1503; E-Mail: bernhard.gemende@fh-zwickau.de

Dr.-Ing. Matthias Leiker

Produktions- und Umweltservice GmbH (PUS), Industrie- und Gewerbegebiet Str. A, Nr. 8, D-02991
Lauta

Tel.: +49(0)35722-9445-3, Fax: 4, E-Mail: RVS-PUS@t-online.de