

Huminstoffbildung während der mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restabfällen

**Jörn Heerenklage ¹⁾, Ena Smidt ²⁾, Estelle Redon ³⁾, Martijn Praagh ⁴⁾,
Hanna Modin ⁴⁾, Rainer Stegmann ¹⁾**

¹⁾Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Gruppe Bio-Konversion und Emissionsminderung, Hamburg

²⁾ Universität für Bodenkultur, Wien, ³⁾ Veolia Environnement, Limay, Frankreich, ⁴⁾ Lund University, Schweden

Humification processes while the mechanical — biological pre treatment of residual waste materials

Abstract

The research study on mechanical-biological pre-treated wastes has shown, that the emission potential can be reduced of appr. 95% while the aerobic treatment in a container system of a large-scale treatment plant. Humification processes can be detected, Humic substances are build up while the aerobic processes and can be analyzed in the organic matter and in the eluate. The humic substances are part of the analyzed TOC in the organic matter and in the DOC of the Eluate

Zusammenfassung

Die Untersuchungen von mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen haben gezeigt, dass im Rahmen einer 9 wöchigen Rotte im Containersystem die organikreiche Fraktion stabilisiert - und das Emissionspotentials um ca. 95 % verringert werden kann. Darüber hinaus erfolgt durch biologische Abbau- und Umbauprozesse der Aufbau einer Huminstoffmatrix, die einerseits im Feststoff als auch im Eluat des untersuchten Materials nachzuweisen ist. Ein Teil des organischen Kohlenstoffgehaltes im Feststoff als auch im Eluat ist den Huminstoffen zuzuordnen.

Keywords

Huminstoffbildung, mechanisch-biologische Vorbehandlung, Restabfall, Humification processes, mechanical-biological pre treatment, residual waste

1 Einleitung

Die mechanisch-biologische Vorbehandlung (MBV) von Restabfällen wird in Deutschland seit dem 1. Juni 2005 großtechnisch umgesetzt. In der Anfangsphase befanden sich noch MBA-Anlagen im Bau bzw. in der Einfahrphase. Bereits zu diesem Zeitpunkt kristallisierte sich heraus, dass die Zuordnungswerte der Abfallablagerungsverordnung (Anhang 2) (Anonymus, 2001) z.T. nur bedingt eingehalten werden können. Als besonders kritisch war der gelöste organische Kohlenstoffgehalt (DOC) im Eluat einzustufen, da der Zuordnungswert von 250 mg/l in vielen Fällen nur teilweise eingehalten werden konnte. Mittlerweile wurde der Zuordnungswert auf 300 mg/l und der Grenzwert von

300mg/l auf 600 g/l erhöht. Über die genaue Charakteristik der organischen Substanz und des DOC im Eluat wurde vielfach diskutiert. Da es sich beim gesamten organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) im Feststoff und beim DOC im Eluat um Summenparameter handelt, lässt die Bewertung der Ergebnisse keine detaillierten Aussagen hinsichtlich der ökologischen oder toxikologischen Relevanz zu (Dach et al, 2007).

Im Rahmen einer biologischen Vorbehandlung kann es zur Bildung von Huminstoffen in der organischen Matrix kommen. Diese bestehen in der Regel zu 50% aus Kohlenstoff und werden somit beim TOC im Feststoff und im DOC des Eluats mit erfasst (Van den Bergh, 2001). Ein höherer Anteil an Huminstoffen im Feststoff bzw. Eluat könnte die Parameter TOC und DOC überbewerten, da die Huminstoffe als Kohlenstoffsenske zu betrachten sind und langfristig gebunden werden. In den vorliegenden Untersuchungen sollte festgestellt werden, wie weit sich der biologisch vorzubehandelnde Restabfall stabilisieren lässt, ob Huminstoffe gebildet werden und welchen Anteil diese am Kohlenstoff haben.

2 Material und Methoden

Für die Untersuchungen zur Beurteilung der Stabilität von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen wurden auf einer großtechnischen Anlage zur Vorbehandlung von Restabfällen Probenmaterialien entnommen und (im Labor der Technischen Universität Hamburg-Harburg am Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Gruppe Bio-Konversion und Emissionsminderung) analysiert (Praagh et al, 2007; Modin, 2007). Bei den untersuchten Materialien handelt es sich um die organikreichen Fraktionen eines Restabfalls (heizwertreiche Fraktion zuvor abgetrennt), die über einen Zeitraum von bis zu 9 Wochen aerob in Containern behandelt wurden. Insgesamt wurden 4 Materialien mit einer Behandlungszeit von 0, 2, 6 und 9 Wochen untersucht. Für die Analysen in der Originalsubstanz und im Eluat wurden die Materialien mittels Schneidmühle auf einen Durchmesser von $d < 10$ mm zerkleinert und bis zur Analyse eingefroren. Ein Teil des Probenmaterials wurde bei einer Temperatur von $T = 105^\circ\text{C}$ getrocknet und anschließend auf einen Durchmesser von 0,25 mm mittels Schneid- und Zentrifugalmühle zerkleinert.

Die Untersuchungen zur Bestimmung der Atmungsaktivität AT_4 , des Gaspotenzials GB_{21} und die Durchführung der Elution erfolgten anhand der Vorgaben der Abfallablagereungsverordnung (Anhang 2) (Anonymus, 2001). Die Untersuchungen zur Atmungsaktivität wurden im Sapromat (Fa. Voith) durchgeführt. Die Analyse des Gaspotenzials erfolgte mittels der volumetrischen Testmethode im Eudiometer (Heerenklage, J und Stegmann, R., 2006). Bei der Elution erfolgte die Filtration mittels Cross-Flow Filtration auf kleiner $d < 0,45 \mu\text{m}$ ($0,1 \text{ m}^2$ ULTRAN Slice, Schleicher & Schuell, Dassel, Germany) bei einem Druck von maximal 6 bar bzw. mittels Druckfiltration (Type ME25, Cellulose

mixed ester, und Spartan 30/0,45 µm RC, 30mm, Whatmann plc, UK) (Anonymus, 2001). Der gelöste organische Kohlenstoffgehalt im Eluat wurde nach DIN 38409 – H3 mit dem Analyzer multi N/C (Analytik Jena) bestimmt. Die Messung des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) erfolgt nach der Methode DIN 38409-H41 und die des Biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB₅) nach der Verdünnungsmethode DIN 38409-H51. Die Untersuchungen hinsichtlich des Cellulose- und Ligninanteils nach Van Soest (1963) im Feststoff wurden im Labor von Veolia Environnement (Limay, Frankreich) durchgeführt. Die Bestimmung der Fuolvosäuren und der Huminsäuren erfolgten im Labor der Universität für Bodenkultur in Wien nach der modifizierten Methode von Danneberg (Gerzabek et al., 1993). Die Analyse des Huminstoffgehaltes im Eluat erfolgte an der TUHH durch photometrische Bestimmung bei 530 nm eines NaOH/Na-Oxalat-Gemisches.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Reduzierung des Emissionspotenzials während der Rotte

Die charakteristischen Daten der 4 untersuchten Materialien aus der mechanisch-biologischen Vorbehandlung sind in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt. Der nach der Probenahme ermittelte Gehalt der Trockensubstanz (TS) variiert zwischen 54 Gew.-% und 66 Gew.-% in der Feuchtmasse (FM). Die organische Trockenmasse (oTM) weist zu Beginn des Rotteprozesses einen Gehalt von 43 Gew.-% TM auf. Nach 9 Wochen Behandlung in der Rotte reduziert sich der organische Trockensubstanzgehalt (oTM) um ca. 40 % auf 26 Gew.-% in der Trockenmasse. Der gesamte organische Kohlenstoffgehalt (TOC) reduziert sich während der aeroben Behandlung von 19 Gew.-% um ca. 32 % auf 12 Gew.-% in der Trockenmasse.

Tabelle 1 Charakterisierung der untersuchten Probematerialien

Behandlungsdauer	TS [Gew.-% FM]	oTM [Gew.-% TM]	TOC [Gew.-% TM]	TOC [Gew.-% oTM]	N-gesamt [Gew.-% TM]	C/N [-]
0 Wochen	54	43	19	44,2	0,99	19,2
2 Wochen	54	44	20	45,5	1,0	20,0
6 Wochen	67	28	13	46,4	0,84	15,5
9 Wochen	66	26	12	46,2	0,78	15,4

Der Stickstoffgehalt verringert sich von 0,99 Gew.-% TM bis zum Ende der Behandlung auf 0,78 Gew.-% TM. Das C/N-Verhältnis nimmt infolge der C-Mineralisierung und N-Immobilisierung von 19,2 zu Beginn der Rotte auf 15,4 nach der Behandlung ab und kann als erster Indikator der Humifizierung verwendet werden (Pichler und Kögel-Abfallforschungstage 2008 www.wasteconsult.de)

Knaber, 1999). Der Kohlenstoffgehalt steigt in der organischen Substanz von 44,2 Gew.-% oTM auf 46,2 Gew.-% oTM geringfügig an. Nach Pichler und Kögel-Knaber (1999) ist dies darauf zurückzuführen, dass bevorzugt Komponenten mit niedrigem C-Gehalt (Kohlenhydrate) mineralisiert werden. Die z.T. geringfügig erhöhten Konzentrationen des Materials nach 2 Wochen Rotte gegenüber dem Rotteinput können auf Inhomogenitäten zurückgeführt werden.

Der erfolgreiche Rotteverlauf kann u.a. anhand der Stabilitätskriterien Atmungsaktivität AT_4 und Gaspotenzials GB_{21} aufgezeigt werden. In Abbildung 1 ist der Kurvenverlauf beider Parameter über den Zeitraum der Behandlung von 9 Wochen dargestellt. Die Atmungsaktivität im Rotteinput von 79,4 mg O_2 /gTM verringert sich bis zum Ende der Rotte um 95 % auf 4,1 mg O_2 /gTM. Das Gaspotenzial GB_{21} reduziert sich von 246 l/kg TM um 97% auf 6,5 l/kg TM. Beide Parameter halten die Zuordnungswerte (5 mg O_2 /gTM bzw. 20 l/kg TM) der AbfAbIV (Anhang 2) (Anonymus, 2001) ein.

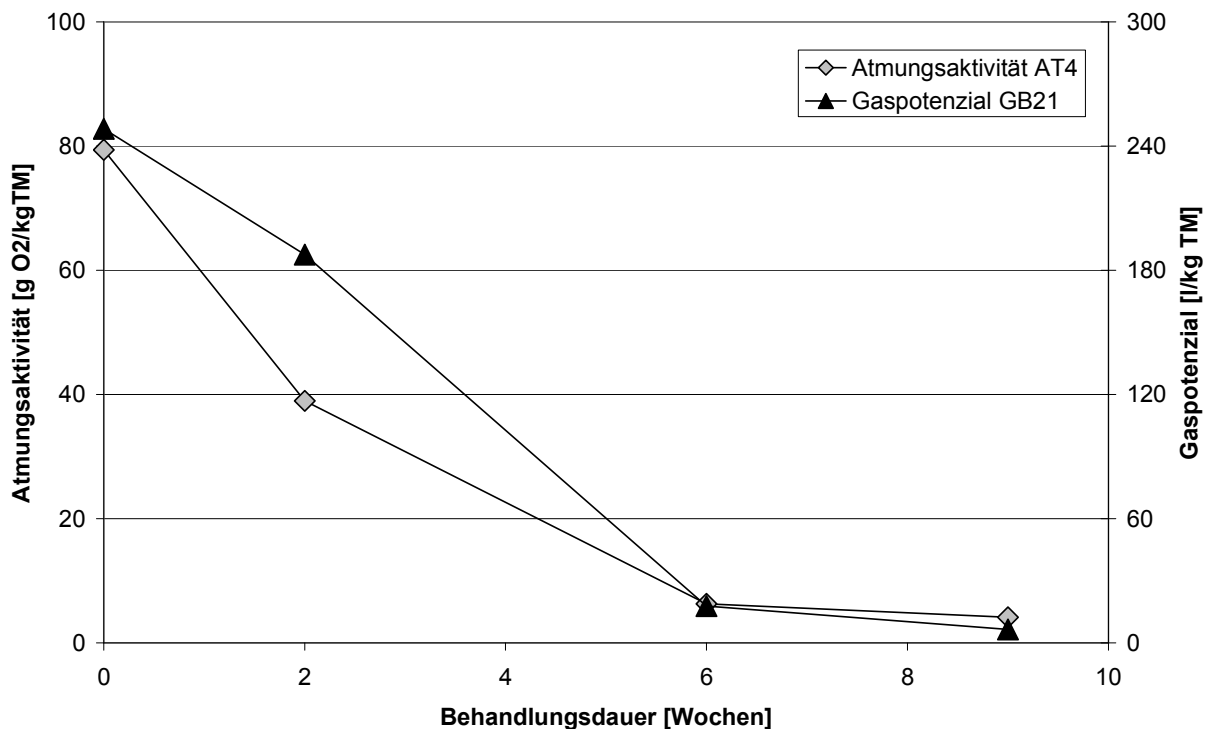


Abbildung 1 Verlauf der Atmungsaktivität AT_4 und des Gaspotenzials GB_{21} der untersuchten Materialien während der 9-wöchigen Rotte

Der DOC im Eluat verringert sich von 3620 mg/l auf 181 mg/l und liegt ebenfalls unter dem Zuordnungswert der AbfAbIV von 300 mg/l. Um das Stabilitätsverhalten des Eluats zu beschreiben, wurden zusätzlich die in der Abwasserbehandlung gebräuchlichen Parameter Biologischer Sauerstoffbedarf BSB_5 und Chemischer Sauerstoffbedarf CSB analysiert. Beide Parameter sind zusammen mit dem DOC in Abbildung 2 über den Behandlungszeitraum von 9 Wochen dargestellt. Das Verhältnis BSB_5/CSB verringert sich

von anfänglich 0,52 auf 0,08 am Rotteende und weist somit auf ein nur noch biologisch schwer abbaubares Eluat hin. Entsprechend verringert sich das BSB₅/DOC-Verhältnis von 1,69 zu Beginn der Rotte auf 0,27 nach 9-wöchiger Behandlungsdauer.

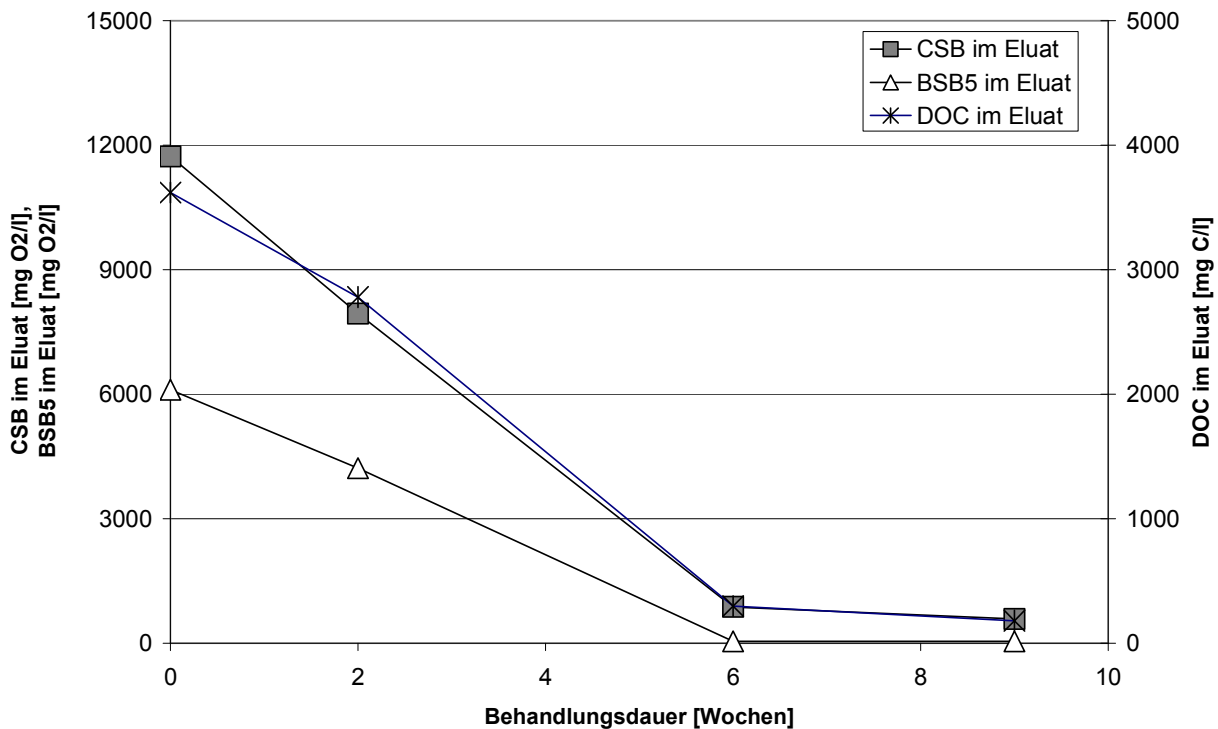


Abbildung 2 Verlauf des DOC-, CSB-, BSB₅-Gehaltes im Eluat der untersuchten MBA-Materialien

3.2 Charakterisierung der organischen Substanz

Die Huminstoffe entstehen durch komplizierte, erst z.T. aufgeklärte chemisch-physikalische und mikrobielle Prozesse aus pflanzlichen und tierischen Rückständen. Als wichtigste Ausgangsstoffe werden Cellulose und Lignin, z.T. auch Peptide gesehen. Huminstoffe sind keine Stoffe chemisch definierter Struktur, sondern kaum auftrennbare Mischungen teilweise sehr komplexer Makromoleküle mit varrierenden Molekülgrößenverteilungen, Strukturen und Funktionalitäten. Huminstoffgemische lassen sich grob nach ihrem Löslichkeitsverhalten in wässriger Phase in säurelösliche Fulvosäuren, säureunlösliche, aber alkalilösliche Huminsäuren und praktisch unlösliches Humin unterteilen. Der Kohlenstoffgehalt der Huminstoffe kann in grober Näherung mit ca. 50 Gew.-% angenommen (Van den Bergh, 2001).

Zur Charakterisierung der organischen Substanz und des Humifizierungsprozesses in den aerob behandelten Restabfallproben und der aufbereiteten Eluate wurden die Methoden der Stoffgruppenanalyse nach Van-Soest (1963) und die Bestimmung der Huminsäuregehalte eingesetzt. In der gravimetrischen van Soest-Analyse wurden die

Stoffgruppen der gelösten organischen Komponenten, der Hemicellulose, der Cellulose und des Lignins erfasst. Der mikrobiologische Abbau erfolgt in unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Die Stärke und Hemicellulose wird 15mal so schnell, Cellulose etwa 3mal so schnell zersetzt wie Lignin (Topp, 1981). Damit verschiebt sich die Zusammensetzung der organischen Substanz in Richtung schwer abbaubare Komponenten. Durch den mikrobiellen Abbau und Umbau des Lignins entstehen Polymerisate mit huminsäureähnlichen Charakter, sodass dem Lignin bei der Bildung von Huminstoffen eine besondere Bedeutung zukommt (Toll, 1981). Zur Charakterisierung des biologischen Abbaus wird in der Regel die Veränderung des Cellulose / Lignin – Verhältnis betrachtet. Nach Pichler und Kögel-Knabner (1999) ist anstatt dem Begriff Lignin auch der Begriff „refraktäre Stoffe“ zu verwenden, da neben dem Lignin auch weitere Komponenten wie z.B. die Humine erfasst werden. In den untersuchten MBA-Materialien verringert sich der Anteil der Cellulose-Fraktion um ca. 60% nach 9 Wochen Behandlungsdauer. Demgegenüber steigt der Anteil an Lignin bzw. refraktäre Stoffe in der organischen Trockenmasse um ca. 40 Gew.-% zum Rotteende an. Das Verhältnis Cellulose / Lignin verschiebt sich von anfänglich 1,68 auf 0,48 zum Rotteende (siehe Abbildung 3). Scherer und Vollmer (1999) berichten von ähnlichen Quotienten aus der Cellulose/Lignin-Fraktion (C/L-Wert) und geben einen finalen C/L-Wert von 0,4-0,8 an. In Untersuchungen von Höring und Ehrig (1998) wurden Grenzwerte von 0,5 für den C/L-Wert beim biologischen Abbau von Restmüll erzielt. In unsortiertem Hausmüll aus Deponien wurde für alten Abfall C/L-Werte zwischen 0,55-0,7 ermittelt (Bookter und Ham, 1982; Suflita et al, 1992). Scherer und Vollmer (1999) stellen fest, dass zu Beginn einer Rotte der C/L-Wert zwischen 1 und 3 liegt und sich ein Endwert am Ende der Rotte von etwa 0,4-0,7 einstellt. Die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse der eigenen Untersuchungen bestätigen diese Aussage. Das untersuchte Material nach 9 Wochen Behandlungsdauer wies einen C/L-Wert von 0,48. Sowohl die Ergebnisse des $AT_4=4,1$ mg O_2/gTM und des $GB_{21}=6,5$ l/kgTM in der Originalsubstanz (siehe Abbildung 1) als auch des Quotienten BSB_5/CSB von 0,08 im Eluat des untersuchten Materials belegen das sehr geringe Emissionspotenzial des untersuchten Materials.

Die mögliche Huminstoffbildung während der aeroben Behandlung von Restabfällen kann anhand der Konzentration der Fulvo- und Huminsäuren und deren Quotienten beschrieben werden. In den Untersuchungen der aerob behandelten MBA-Materialien stieg die Konzentration der Huminsäuren und der Fulvosäuren mit zunehmender Behandlungsdauer an. Die Konzentration der Fulvosäuren erhöhte sich von anfänglich 145 oD/gOTM auf 275 oD/gOTM nach 9 wöchiger aerober Behandlungszeit, die Konzentration der Huminsäuren erhöhte sich von 127 oD/gOTM auf 574 oD/gOTM. Der Massenanteil der Huminsäuren in der organischen Substanz erhöhte sich um den Faktor 3,2 von 2,4 % auf 7,8 % zum Behandlungsende (siehe Tabelle 2). Der Quotient der Fraktion Huminsäuren / Fulvosäuren steigt mit zunehmender Rottedauer von 0,9 auf 2,1 an

und ist in Abbildung 3 gemeinsam mit dem Quotienten Cellulose / Lignin über die Behandlungsdauer aufgetragen. Der ansteigende Quotient Huminsäuren / Fulvosäuren zeigt an, dass die von ihrer Molekülstruktur kleineren Fulvosäuren (800-9000 Da) anteilig mit zunehmender Behandlungsdauer abnehmen, gleichzeitig entwickeln sich die größeren Huminsäurestrukturen (9000-500000 Da) und können als Senke für refraktären organischen Kohlenstoff im vorbehandelten Restabfall angesehen werden. Der Kohlenstoffgehalt weist am Behandlungsende einen Gehalt von ca. 450 g je Kilogramm organischer Trockenmasse auf. Bei einem angenommenen Kohlenstoffgehalt von ca. 50% in den Huminstoffen beträgt der Anteil der Huminsäuren + Fulvosäuren am organischen Kohlenstoffgehalt in der organischen Substanz der vorbehandelten Restabfälle ca. 13 Gew.-%. Möglicherweise liegt der tatsächliche Gehalt höher, da die Fraktion Lignin z.T. mit einbezogen werden könnte. Das vorbehandelte Restabfallmaterial weist somit schon vor der Ablagerung auf der Deponie einen hohen Humifizierungsgrad auf. Im Vergleich werden bei der Kompostierung von Bioabfall und einer anschließenden Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen, auf den weiterhin die Ab- und Umbauprozesse der Huminstoffe fortgesetzt werden, ca. 27 Gew.-% Humus erzeugt (Anonymus, 2004).

Tabelle 2 Huminsäuregehalte der MBA-Proben angegeben als optische Dichte (oD) und als Prozent der organischen Trockenmasse [oTM]

Behandlungsdauer	Huminsäuren [oD /goTM]	Fulvosäuren [oD / g oTM]	Huminsäuren [% oTM]
0 Wochen	127	145	2,4
2 Wochen	207	142	3,4
6 Wochen	442	247	6,2
9 Wochen	574	275	7,8

Die Ergebnisse der Untersuchungen des Kohlenstoffgehaltes im Feststoff (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffgehaltes (DOC) im Eluat zeigen, dass sich der Anteil an eluierbarem Kohlenstoff vom Feststoff (TOC) in das Eluat (DOC) während der 9-wöchigen Rotte von anfänglich 20 Gew.-% auf ca. 1,6 Gew.-% am Rotteende reduziert. Durch die aerobe Behandlung wird der verbleibende organische Kohlenstoff in der Feststoffmatrix fixiert und kann nur noch geringfügig als gelöster organischer Kohlenstoff in die Flüssigphase ausgetragen werden. Erste Analysen der Huminsäuren im filtrierten Eluat weisen Gehalte zwischen 10 und 36 mg/l auf. Nach Van den Bergh (2001) beträgt der Huminstoffgehalt in Flüssen ungefähr 3,5mg/l, in Mooregebieten liegen mehr

als 10 mg/l vor. Beim DOC im Eluat des aerob vorbehandelten Materials handelt es sich z.T. um eine Matrix, die biologisch nur noch schwer abbaubar ist und über längerfristigen Zeiträumen Um- Abbauprozessen unterworfen sein wird. Nach 6-wöchiger Rotte liegen ca. 9 Gew.-% des gelösten DOC (298 mg/l) im Eluat als Huminsäuren + Fulvosäuren (angenommener C-Gehalt ca. 50%) vor. Dieser Huminstoffanteil liegt in der gleichen Größenordnung wie in der Feststoffmatrix. Zur Verifizierung der Ergebnisse sind weitere Untersuchungen hinsichtlich des Huminstoffgehaltes im Eluat durchzuführen.

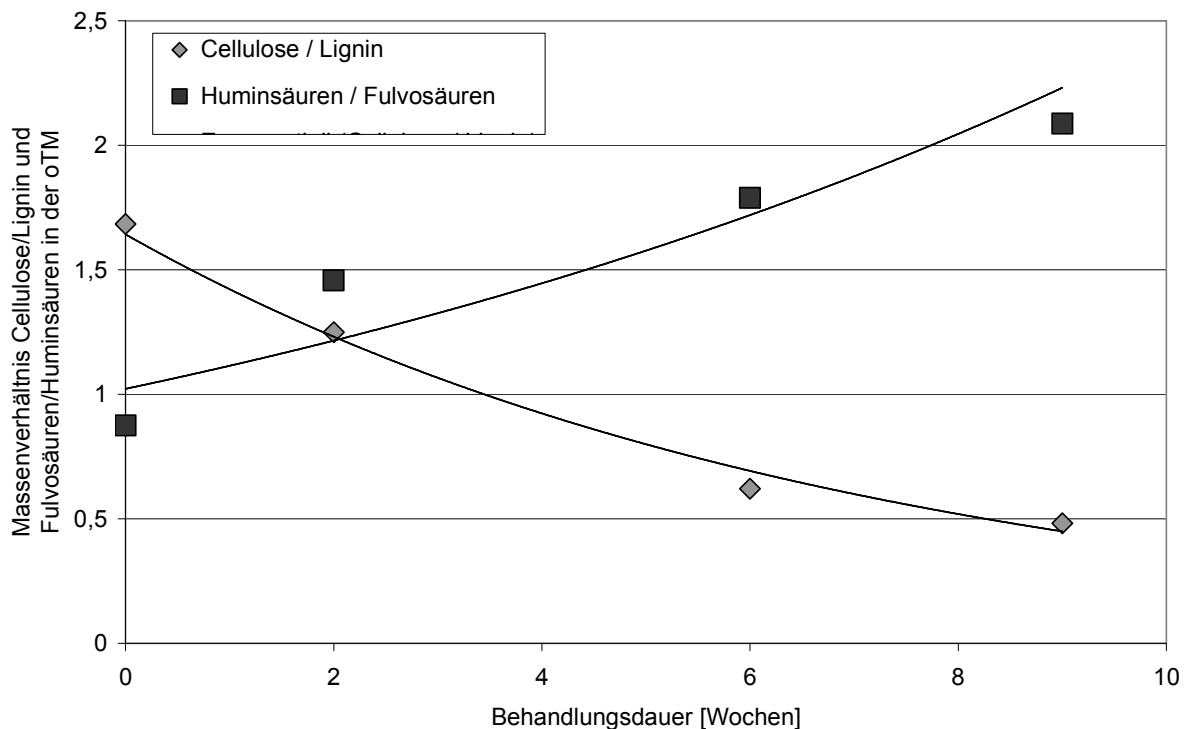


Abbildung 3 Veränderung der Massenverhältnisse von Cellulose und Lignin sowie Fulvosäuren und Huminsäuren in der organischen Trockenmasse von Restabfällen im Rahmen der aeroben Behandlung

4 Zusammenfassung

Im Rahmen einer mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restabfällen wurde die organikreiche Fraktion während einer 9-wöchigen aeroben Behandlung in Containern analysiert. Je ein Material wurde zu Beginn und zum Ende der Vorbehandlung sowie zwei weitere Materialien nach 2- und 6-wöchiger Behandlungszeit analysiert. Während der Rotte verringerte sich die biologische Aktivität hinsichtlich der Atmungsaktivität AT_4 und des Gaspotenzials GB_{21} um 95% bzw. 97%. Der gelöste organische Kohlenstoffgehalt im Eluat verringerte sich ebenfalls um 95%. Jeder dieser Parameter hielt die jeweiligen Zuordnungswerte der Abfallablagereungsverordnung (Anhang 2) (Anonymus, 2001) ein. Das 9 Wochen aerob vorbehandelte Material weist nur noch ein sehr geringes Emissionspotenzial auf und ist biologisch nur noch schwer abbaubar. Dies belegen

ebenfalls Analysen des BSB₅ und des CSB im Eluat. Der Quotient BSB₅/CSB weist nach der Rotte einen Wert von 0,08 auf. Das Material gilt somit als schwer biologisch abbaubar. Im Feststoff verringert sich das Kohlenstoff/Stickstoffverhältnis von ca. 20 auf einen Quotienten von 15 und ist somit als stabil anzusehen.

Detaillierte Untersuchungen zur Zusammensetzung der organischen Substanz zeigen auf, dass Cellulose um ca. 60% umgesetzt wird und Lignin bzw. die refraktäre Substanzen um ca. 40% (relativ betrachtet) zunehmen. Das Massenverhältnis von Cellulose/Lignin in der organischen Substanz verringert sich von anfänglich 1,68 auf 0,48 und zeigt somit eine typische Verschiebung des Cellulose/Lignin-Verhältnisses im Rahmen einer mechanisch-biologischen Vorbehandlung auf. Das Verhältnis Huminsäuren/Fulvosäuren steigt während der aeroben Behandlung von 0,9 auf 2,1 an. Huminsäuren und Fulvosäuren werden in der Feststoffmatrix gebildet und haben einen Anteil von ca. 13 Gew.-% am organischen Kohlenstoffgehalt TOC. Das Material weist somit bereits Humusgehalte auf, die auch im Rahmen einer Kompostierung von Bioabfällen erreicht werden und als stabil gelten. Weitere biologische Abbau- und Umbauprozesse der organischen Matrix können langfristig erfolgen.

Erste Analysen des Huminstoffanteils im Eluat des vorbehandelten Materials zeigen auf, dass der Huminstoffgehalt mit bis zu 36 mg/l denen von Proben aus Mooren entspricht und ebenfalls als sehr stabil einzustufen ist.

In weiteren Untersuchungen sind die Huminstoffgehalte in den Eluaten zu verifizieren.

5 Literatur

- | | | |
|----------------------------------|------|--|
| Anonymus | 2001 | Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen, Berlin 20.02.2001, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Deutschland |
| Anonymus | 2004 | Boden-, Ressourcen- und Klimaschutz durch Kompostierung in Deutschland, EPEA Internationale Umweltforschung GmbH |
| Heerenklage, J., Stegmann, R. | 2006 | Bestimmung der Stabilitätskriterien von MBA-Material in der Praxis, In: Deponietechnik 2006, Hamburger Berichte 29, S91-107, Verlag Abfall aktuell, ISBN 3-9810064-4-5 |
| Scherer, Paul A.; Vollmer, G.-R. | 1999 | Entwicklung eines einfachen Hochleistungsvergärungsverfahrens zur Behandlung von Restmüll unter hyperthermophilen Bedingungen, das gleichzeitig pasteurisiert und eine Nachrotte erspart. In: Müll und Abfall 3/99, S. 150-158, ISSN 0027-2957 |

- Soest van, P.J. 1963 Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. II A Rapid Method for the Determination of Fiber and Lignin, J.A.O.A.C. 50, 50-55
- Amin, M., Lepom, P. 1995 Stoffgruppenanalyse zur Charakterisierung des biologisch abbaubaren Anteils der organischen Substanz in Müllproben, Müll und Abfall 4/95, S. 242-250
- Bookter, T., Ham, R. 1982 Stabilisation of solid waste in landfills. J. Environ. Engin. 108: 1089-1100
- Van den Bergh, J. 2001 Vor-Ort-Charakterisierung von aquatischen Huminstoffen und ihren Metallspezies. Dissertation an der Universität Dortmund
- Dach, J., Warnstedt, A., Müller, G. 2007 Erfahrungen und Optimierungsansätze zur Einhaltung des TOC im Eluat.
- Gerzabek, M.H., Danneberg, O., Kandeler, E. 1993 Bestimmung des Humifizierungsgrades. In: Bodenbiologische Arbeitsmethode. Schinner F., Öhlinger R., Kandeler E., Margesin, R., Eds., Springer Verlag, 107-109
- Höring, K.; Ehrig, H-J. 1998 Stabilisierungsgrad und Emissionsverhalten mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfälle. Verbundvorhaben Mechanisch-biologische Behandlung von deponierenden Abfällen. Beiträge der Ergebnispräsentation 7.-8. September 1999, Potsdam
- Van Praagh, M., Heerenklage, J., Smidt, E., Modin, H., Stegmann, R., Persson, K.M. 2007 Potential Emissions from pretreated wastes with regard to organic matter and some heavy metals. In: Waste Management (submitted)
- Pichler, M., Kögel-Knabner, I. 1999 Humifizierungsprozesse und Huminstoffhaushalt während der Rotte und Deponierung von Restmüll. Verbundvorhaben Mechanisch-biologische Behandlung von deponierenden Abfällen. Beiträge der Ergebnispräsentation 7.-8. September 1999, Potsdam
- Topp, W. 1981 Biologie der Bodenorganismen, UTB, Heidelberg, ISBN 3-494-02129-5
- Modin, H. 2007 Impact of pre-treatment on the stability and leachability of three different wastes; Diplomarbeit an der Technischen Universität Hamburg-Harburg und an der Lund University (Schweden); In: Avdelning för Teknisk Vattenresurslära, ISRN LUTVDG/TVVR-07/5011+103p, ISSN-1101-9824

Anschrift der Verfasser(innen):

Jörn Heerenklage

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Gruppe Bio-Konversion und Emissionsminderung

Harburger Schloßstraße 36

D-21079 Hamburg

Telefon +49 40 42878 3526

Email heerenklage@tu-harburg.de

Website: www.tu-harburg.de/aws/

Ena Smidt

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt

Muthgasse 107

A-1190 Wien

E-mail: ena.smidt@bocu.ac.at

Website: www.bocu.ac.at

Estelle Redon

Veolia Environnement

Zone portuaire de Limay

291 avenue Dreyfous-Ducas

FR-78520 Limay

E-mail: Estelle.REDON@veolia.com

Martijn Praagh

Lund University

Water Resources Engineering

Lund University Box 117

S-22100 Lund Sweden

E-mail: martijn.van_praagh@tvrl.lth.se

Website: www.lu.se/lund-university/

Hanna Modin

Lund University

Water Resources Engineering

Lund University Box 117

S-22100 Lund Sweden

E-mail: hanna.modin@tvrl.lth.se

Website: www.lu.se/lund-university/

Rainer Stegmann

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Gruppe Bio Conversion und Emissionsminderung

Harburger Schloßstraße 36

D-21079 Hamburg

Telefon +49 40 42878 3054

Email stegmann@tu-harburg.de

Website: www.tu-harburg.de/aws/