

# Entwicklung eines Verfahrens sowie Bau und Erprobung einer Container-Versuchsanlage zur Nassmechanischen Trennung von Biomasse und Inertstoffen einschließlich Erarbeitung von Möglichkeiten der Inertstoffverwertung

gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)



Abschlußbericht

DBU-Förderprojekt AZ 08449

**EcoEnergy Gesellschaft für  
Energie- und Umwelttechnik mbH, Walkenried**

# **Entwicklung eines Verfahrens sowie Bau und Erprobung einer Container-Versuchsanlage zur Nassmechanischen Trennung von Biomasse und Inertstoffen einschließlich Erarbeitung von Möglichkeiten der Inertstoffverwertung**

**Abschlußbericht über ein Projekt,  
gefördert unter dem Az: 08449  
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

**Projektdauer: 2002 - 2006**

## **Bearbeitung**

Dipl.-Biol. Kirsten Schu  
EcoEnergy Gesellschaft für  
Energie- und Umwelttechnik mbH  
Bei dem Gerichte 9  
37445 Walkenried  
[www.EcoEnergy.de](http://www.EcoEnergy.de)

## **Projektleitung**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu  
EcoEnergy Gesellschaft für  
Energie- und Umwelttechnik mbH  
Bei dem Gerichte 9  
37445 Walkenried  
[www.EcoEnergy.de](http://www.EcoEnergy.de)

**Walkenried im Mai 2009**

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>08449</b>	Referat	<b>23</b>	Fördersumme	<b>302.203,00€</b>
<b>Antragstitel</b>	<b>Entwicklung eines Verfahrens sowie Bau und Erprobung einer Container-Versuchsanlage zur nassmechanischen Trennung von Biomasse und Inertstoffen einschließlich Erarbeitung von Möglichkeiten der Inertstoffverwertung</b>				
<b>Stichworte</b>	Abfall, Verfahren, Bioabfall, Biogas, Trennung, Wiederverwertung, Recycling				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>3 Jahre, 10 Monate</b>	<b>04.11.2002</b>	<b>01.08.2006</b>	<b>1</b>		
<b>Bewilligungsempfänger</b>	<b>EcoEnergy Gesellschaft für Energie- und Umwelttechnik mbH</b> Bei dem Gerichte 9 37445 Walkenried			Tel	05525-2096 10
				Fax	05525-2096 33
				Projektleiter	Dipl.-Ing. Reinhard Schu
				Bearbeiter	Dipl.-Biol. Kirsten Schu
<b>Kooperationspartner</b>	Universität Duisburg-Essen, Universitätsstraße 15, 45141 Essen Fachbereich Abfallwirtschaft und Abfalltechnik				

### **Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens**

EcoEnergy hat ein innovatives Verfahren zur nassmechanischen Aufbereitung von Abfällen entwickelt, das in dem vorliegenden Förderprojekt in der Praxis untersucht wurde. Verfahrensziel ist die Erzeugung von Wertstofffraktionen - Biomasse, Sand, Kies, und Steine - aus Bioabfall- und Restabfallfraktionen < 80 mm. Durch eine nassmechanische Trennung und Waschung sollen schadstoffreduzierte Wertstoffe erzeugt werden. Eine nassmechanische Aufbereitung erfolgt üblicherweise zum Schutz der Anlagentechnik in Naßvergärungsverfahren, eine Verwertung und gezielte Schadstoffabreicherung der festen Biomasse- und Inertstoff-Fraktionen wird nicht durchgeführt. Feststoffvergärungsverfahren konnten sich aufgrund technischer Probleme mit Schwimmschichten, Sandablagerungen und Verschleiß nicht durchsetzen. Bei dem zu untersuchenden NMT-Verfahren werden neben der Verfahrenseignung auch die Verwertungsmöglichkeiten der Outputfraktionen untersucht.

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Zum Nachweis der Verfahrenseignung wurde eine Containerversuchsanlage im Demonstrationsmaßstab geplant, gebaut und in Betrieb genommen. Mit verschiedenen Abfallfraktionen erfolgte der Probetrieb. Zur Optimierung der Qualität der Wertstoffe wurden umfangreiche Umbauten und Verfahrensoptimierungen anhand der Probetriebserfahrungen durchgeführt. Nach den Verfahrensoptimierungen erfolgten Versuche zur Massenbilanzierung und Energiebilanzierung und zum Nachweis der Verwertbarkeit der Reststoff-Fraktionen aus dem NMT-Verfahren. Neben der verfahrenstechnischen Qualitätsoptimierung und Analytik der Organikfraktionen und der Inertstoff-Fraktionen Sand, Kies und Steine wurden auch weiterführende Aufbereitungsverfahren getestet und mit den Ergebnissen des NMT-Verfahrens verglichen. Die Trennbarkeit von nativer Organik bzw. Biomasse von fossiler Organik wie z.B. Kunststoffe wurde erst nach Abschluss des Forschungsprojektes entdeckt aber dennoch in die Projektdokumentation aufgenommen. Die separierte Biomassefraktion wurde für die Eignung zur stofflichen Verwertung als Kompost und Dämmstoff sowie zur energetischen Verwertung in Kohlekraftwerken in Kooperation mit der swb Erzeugung GmbH & Co. KG, Bremen untersucht. Zur Integration des NMT-Verfahrens in ein Abfallwirtschaftskonzept wurden diverse Studien zum Stand der Technik und Weiterentwicklungen zur Verwertung der vom NMT-Verfahren nicht erfassten Grobfraktion zur Wertstoffgewinnung und optimierten energetischen Verwertung durchgeführt.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Die Projektergebnisse konnten trotz oder gerade wegen des über die Planungsansätze hinausgehenden sehr hohen zeitlichen und finanziellen Aufwands die Erwartungen weit übertreffen. Es konnte nicht nur die Trennung von Organik und Inertstoffen erfolgreich durchgeführt werden, die Organik konnte darüber hinaus in drei Organikgruppen:

- leichtabbaubare Organik zur Biogaszeugung
- native Organik als Biomasse zur stofflichen oder energetischen Verwertung der Faserstoffe
- fossile Organik, Kunststoffe zur weiteren Wertstoffsartierung und energetischen Verwertung hocheffektiv aufgetrennt werden.

Die in der Planung vorgesehene Abscheidung von drei Inertfraktionen - Sand, Kies und Steine - konnte erfolgreich durchgeführt werden. Überraschend war der sehr hohe Inertstoffanteil < 100 µm, der durch einen Umbau der Anlage als neue Schluff-Fraktion Inert 4 abgedehieden werden konnte. Eine weitere Aufbereitung der Schluff-Fraktion zur Verwertung ist bei der Weiterführung der Versuche geplant.

Die Schadstoffbilanzen zeigen eine deutliche Schadstoffreduzierung durch Waschung, Pressung und Fraktionierung von Biomasse und Kunststoffen mit der Weiterentwicklung der Zellysetechnik.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Das Verfahren wurde erstmals im September 2006 mit Auslaufen des Förderprojektes in einem Expertenforum vor ausgewähltem Fachpublikum vorgestellt und diskutiert.

Seit Ende des Förderprojektes ist EcoEnergy verstärkt auf Messen und Tagungen präsent und vertreibt das NMT-Verfahren intensiv. Im Anschluss an das Forschungsprojekt werden Versuche zur Anlagenauslegung und Erweiterung des NMT-Verfahrens zur Energieerzeugung und Produktentwicklung aus nachwachsenden Rohstoffen durchgeführt und konkrete Anlagen geplant.

## **Fazit**

Das NMT-Verfahren wurde nach den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit entwickelt und stellt sich in dieser positiven Form auch im Vergleich zur konventionellen Bioabfallvergärung oder zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe dar. Das NMT-Verfahren ist herkömmlichen MBA Verfahren mit nur der Hälfte der Gesamtkosten und einer über 95%igen Verwertungsquote weit überlegen. Kompostierungsverfahren mit hohen Abluftvolumenströmen, hohem Energieverbrauch, ungenutzten CO<sub>2</sub>-Emissionen und nicht zuletzt der fehlenden Möglichkeit zur Schadstoffentfrachtung sind nicht mehr Stand der Technik. Ökologisch und nach der Novellierung der EU-Abfallrahmenrichtlinie ist eine Maximierung der stofflichen und energetischen Verwertung gefordert, bei gleichzeitiger Ressourcenschonung, Schadstoffentfrachtung und Reduzierung der zu versiegelnden Flächen. Eine Anlage nach dem NMT-Verfahren benötigt nur 1/10 der Fläche einer herkömmlichen MBA mit Vergärungsverfahren mit anschließender Rotte oder Bioabfallkompostierungsanlagen bzw. Vergärungsverfahren mit anschließender Nachrotte. Die Abluftemissionen einer herkömmlichen MBA betragen pro Tonne Abfall 5.000 – 10.000 m<sup>3</sup> belastete Abluft aus der biologischen Behandlung, die über erdgasbetriebene, energieintensive RTO-Anlagen behandelt werden muss. Beim NMT-Verfahren wird keine biologische Behandlung von Feststoffen durchgeführt, lediglich eine anaerobe und aerobe Abwasserreinigung, wobei die Abluftströme aus der aeroben Abwasserreinigung so gering sind, dass diese in der Biogasverwertung als Zuluft verwendet werden können. Die Trocknung wird in einem weitgehend geschlossenen Kreislauf mit Brüdenkondensation durchgeführt, wodurch ebenfalls nur geringe Restbrüdenmengen entstehen, die ebenfalls in der Biogasverwertung verwendet werden können. Es findet eine fast vollständige Verwertung der Stoffströme statt, mit Ausnahme von 1% Gärrest als Schadstoffseneke. Eine maximale Energierückgewinnung und Energiegewinnung wird durch Vergärung der leichtabbaubaren organischen Fraktion erreicht. Die Abwärme aus der Biogasverstromung wird teilweise zur Trocknung sowohl der Biomassefraktion als auch der Grobfraktion zur Konditionierung für eine stoffliche Verwertung entsprechend dem von EcoEnergy entwickelten Niedertemperatur-Tunnelrockner verwendet. Es wird nach der Verstromung und Wärmenutzung für eine Gesamtanlage sogar noch ein Wärmeüberschuss als Heiz- oder Prozesswärme erzeugt. Ebenfalls können nach Abzug des elektrischen Eigenbedarfs 50% der mit dem Biogas produzierten elektrischen Energie eingespeist werden. Mit dem NMT-Verfahren liegt die Biogasausbeute nur 20% - 25% unter dem Biogasertrag einer Vollstromvergärungsanlage, wobei die Probleme mit Feststoffen umgangen werden und vor der biologische Behandlung saubere Faserstoffe abgedehieden werden, die als Holzpellet-Ersatz in Steinkohlekraftwerken mit sehr hohen Qualitätsansprüchen sogar mit Produktzuzahlungen vermarktet werden können. Der energetische Wirkungsgrad des Verfahrens ist höher als bei konventionellen Vergärungsverfahren. Dies drückt sich auch in dem höheren Methangehalt des Biogases aus, da nur biologisch leichtabbaubare Organik in den Gärbehälter gelangt.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung .....	6
2	Einleitung .....	7
2.1	Ausgangssituation .....	7
2.2	Zielsetzung .....	10
2.3	Aufgabenstellung .....	11
3	Material und Methoden .....	12
3.1	Verfahrensbeschreibung .....	13
3.2	Technische Daten .....	16
3.3	Aufstellungsplan der Versuchsanlage .....	16
3.4	Zeitlicher Ablauf des Projektes .....	18
3.5	Standorte .....	20
3.6	Material .....	20
3.7	Analytik .....	21
4	Ergebnisse .....	21
4.1	Energiebilanz .....	21
4.2	Massenbilanz .....	22
4.3	Produkte .....	23
4.3.1	Organikfraktionen und BioAbfV .....	24
4.3.2	Organikfraktionen Brennstoffeigenschaften .....	26
4.3.3	Inertfraktionen .....	28
4.4	Versuche nach Ende der Projektlaufzeit .....	29
5	Bewertung der Vorhabensergebnisse .....	29
5.1	Produktqualität .....	29
5.2	Verfahrensoptimierung .....	30
5.2.1	Negative Abweichungen: .....	31
5.2.2	Positive Abweichungen: .....	32
5.3	Ökologische und ökonomische Bilanzierung des Verfahrens in Abgrenzung zu den Verfahren nach dem Stand der Technik .....	34
6	Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation .....	35
6.1	Veröffentlichungen .....	35
7	Fazit .....	37

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

## TABELLENVERZEICHNIS

## VERZEICHNIS VON BEGRIFFEN UND DEFINITIONEN

# 1 Zusammenfassung

EcoEnergy hat ein innovatives Verfahren zur nassmechanischen Aufbereitung von Abfällen entwickelt und patentiert, das in dem vorliegenden Förderprojekt in der Praxis untersucht wurde. Verfahrensziel ist die Erzeugung von Wertstofffraktionen - Biomasse, Sand, Kies, und Steine - aus Bioabfall- und Restabfallfraktionen < 80 mm. Durch eine nassmechanische Trennung und Waschung sollen schadstoffreduzierte Wertstoffe erzeugt werden. Bei dem zu untersuchenden NMT-Verfahren werden neben der Verfahrenseignung auch die Verwertungsmöglichkeiten der Outputfraktionen untersucht.

Zum Nachweis der Verfahrenseignung wurde eine Containerversuchsanlage im Demonstrationsmaßstab geplant, gebaut und in Betrieb genommen. Mit verschiedenen Abfallfraktionen erfolgte der Probetrieb. Zur Optimierung der Qualität der Wertstoffe wurden umfangreiche Umbauten und Verfahrensoptimierungen anhand der Probetriebs-Erfahrungen durchgeführt. Nach den Verfahrensoptimierungen erfolgten Versuche zur Massenbilanzierung und Energiebilanzierung und zum Nachweis der Verwertbarkeit der Reststoff-Fraktionen aus dem NMT-Verfahren. Neben der verfahrenstechnischen Qualitätsoptimierung und Analytik der Organikfraktionen und der Inertstoff-Fraktionen Sand, Kies und Steine wurden auch weiterführende Aufbereitungsverfahren getestet und mit den Ergebnissen des NMT-Verfahrens verglichen. Die Trennbarkeit von nativer Organik bzw. Biomasse von fossiler Organik wie z.B. Kunststoffe wurde erst nach Abschluss des Forschungsprojektes entdeckt aber dennoch in die Projektdokumentation aufgenommen. Die separierte Biomassefraktion wurde für die Eignung zur stofflichen Verwertung als Kompost und Dämmstoff sowie zur energetischen Verwertung in Kohlekraftwerken in Kooperation mit der swb Erzeugung GmbH & Co. KG, Bremen untersucht. Zur Integration des NMT-Verfahrens in ein Abfallwirtschaftskonzept wurden diverse Studien zum Stand der Technik und Weiterentwicklungen zur Verwertung der vom NMT-Verfahren nicht erfassten Grobfraktion > 80 mm zur Wertstoffgewinnung und optimierten energetischen Verwertung durchgeführt.

Die Projektergebnisse konnten trotz oder gerade wegen des über die Planungsansätze hinausgehenden sehr hohen zeitlichen und finanziellen Aufwands die Erwartungen weit übertreffen. Es konnte nicht nur die Trennung von Organik und Inertstoffen erfolgreich durchgeführt werden, die Organik konnte darüber hinaus in drei Organikgruppen:

- leichtabbaubare Organik zur Biogaserzeugung
- native Organik als Biomasse zur stofflichen oder energetischen Verwertung der Faserstoffe
- fossile Organik, Kunststoffe zur weiteren Wertstoffsartierung und energetischen Verwertung

hocheffektiv aufgetrennt werden.

Die in der Planung vorgesehene Abscheidung von drei Inertfraktionen - Sand, Kies und Steine - konnte erfolgreich durchgeführt werden. Überraschend war der sehr hohe Inertstoffanteil < 100 µm, der durch einen Umbau der Anlage als neue Schluff-Fraktion Inert 4 abgeschieden werden konnte. Eine weitere Aufbereitung der Schluff-Fraktion zur Verwertung ist bei der Weiterführung der Versuche geplant.

Die Schadstoffbilanzen zeigen eine deutliche Schadstoffreduzierung durch Waschung, Pressung und Fraktionierung von Biomasse und Kunststoffen mit der Weiterentwicklung der Zellysetechnik.

Das Verfahren wird ab 2009 großtechnisch bei der Erneuerung der KBA Hard, Schaffhausen, Schweiz realisiert.

Der Bau der Versuchsanlage und die Versuche zur Erprobung des Verfahrens wurden von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert (AZ 08449). Weitere Kooperationspartner waren die Firma Segler Förderanlagen GmbH und die Universität Essen.



## 2 Einleitung

### 2.1 Ausgangssituation

MBA-Konzepte wurden ursprünglich zur Stoffstromteilung in eine nasse Feinfraktion und eine trockene Grobfraktion entwickelt. Das erklärte Ziel für die nasse Feinfraktion war bis Anfang der 80er Jahre die Herstellung von Kompost. Die trockene Grobfraktion wiederum sollte zu Ersatzbrennstoffen für Industrieanlagen aufbereitet werden, die damals BRAM (BRennstoffAusMüll) genannt wurden. Mit diesem Konzept sollte eine hochwertige Verwertung aller Abfallbestandteile ermöglicht werden. Der Nachhaltigkeitsgedanke ist deutlich erkennbar, obwohl zu dieser Zeit dieser Begriff in der Abfallwirtschaft noch nicht verwendet wurde.

Die nasse Feinfraktion wurde zur Herstellung eines optisch sauberen Müllkompostes verwendet, der sich äußerlich nicht von Bioabfallkomposten unterschied. Durch den vermehrten Rücklauf von Kunststoffabfällen seit 1960 erhöhten sich auch die Schadstoffgehalte im Kompost, hier besonders die Schwermetallgehalte (Hg, Pb, Cd etc.). Die Technologie der MBA-Anlagen der ersten Generation sah eine Zerkleinerung mit Hammermühlen vor, die auch Kunststoffe soweit feinerzkleinerte, dass diese in die Kompostfraktion gelangten. Für eine langfristige landwirtschaftliche Nutzung zur Herstellung von Nahrungsmitteln waren die Schadstoffgehalte im Hausmüllkompost zu hoch. Noch heute könnten die Äcker, auf denen Hausmüllkompost angewendet wurde, deutlich aufgrund der noch die nächsten 500 Jahre verbleibenden Kunststoffreste zu erkennen.

Die trockene Grobfraktion konnte durch eine rein mechanische Aufbereitung nicht soweit von Schadstoffen befreit werden, dass eine Mitverbrennung in Industriekraftwerken unter technischen und emissionsschutzrechtlichen Gesichtspunkten langfristig möglich war. Da ab Mitte der 80er Jahre die Kosten für Primärenergieträger zudem stark zurückgingen, war die Wirtschaftlichkeit des BRAM Konzeptes nicht mehr gegeben.

Ab Mitte der 80er Jahre wurde verstärkt die getrennte Erfassung von trockenen Wertstoffen wie Papier, Pappe, Glas sowie Metallen gefordert und das MBA-Konzept zu einer reinen Vorbehandlung vor der Deponie modifiziert.

In Pilotversuchen an der Kompostierungsanlage Witzenhausen mit Bioabfall aus der separaten Sammlung zwischen 1983 und 1986 konnte nachgewiesen werden, dass Biokompost aus der separaten Bioabfallsammlung wesentlich geringer mit Schad- und Störstoffen belastet ist als Hausmüllkompost. Auf Grundlage des § 3 des Abfallgesetzes von 1986 forderte daraufhin der damalige Umweltminister Klaus Töpfer die separate Einsammlung von Bioabfall und der trockenen Wertstoffe Papier, Pappe, Kartonagen (PPK) und Glas.

Die Ergebnisse der Modellvorhaben für eine getrennte Erfassung von Wertstoffen waren Grundlage für die Festschreibung der Kreislaufwirtschaft (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz) mit getrennter Erfassung der biogenen Anteile des Abfalls und der Festlegung von Qualitätskriterien für die erzeugten Bioabfallkomposte (LAGA M10, Bioabfallverordnung). Die in LAGA M10 sowie in der Bioabfallverordnung genannten Grenzwerte für Komposte hatten zum Ziel, Hausmüllkomposte zu verhindern und orientierten sich an den technischen Möglichkeiten einer getrennten Bioabfallsammlung. Der Gedanke der Nachhaltigkeit war im Ansatz gegeben, jedoch nicht konsequent durchgeführt worden. Aspekte wie die langfristige Akkumulation von Schadstoffen in den Böden wurden bei der Grenzwertfindung nicht berücksichtigt. Erst im Positionspapier des Umweltbundesamtes „Gleiches zu Gleichem“ wurde im Jahr 2002 der Nachhaltigkeitsgedanke auch auf die Bioabfallkomposte angewendet, aber noch nicht in einen rechtlichen Rahmen überführt.

Mit der getrennten Wertstoff- und Bioabfallerefassung sowie durch das Scheitern des BRAM- und Hausmüllkompost-Konzeptes wurde der MBA-Gedanke auf eine reine Vorbehandlung vor der Deponie reduziert. Das Schließen von Stoffkreisläufen, die Energieeffizienz und so der Nachhaltigkeitsgedanke gerieten in den Hintergrund.

Mit der technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) definierte der Bundesgesetzgeber bereits 1993 Standards für eine umweltverträgliche Entsorgung von Siedlungsabfällen. Laut TASi dürfen nur inerte Abfälle wie Bauschutt, Schlacke etc. auf Deponien abgelagert werden. Der Vorrang der Ver-

wertung – sofern schadlos und zumutbar – blieb davon unberührt und wurde in dem im Jahr 1994 verabschiedeten Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz festgeschrieben.

Während die TASI bezüglich der Restabfallbehandlung langfristig auf das Zieljahr 2005 angelegt war, griffen die Anforderungen des Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetzes hinsichtlich des Vorranges der Verwertung und Reduzierung der zu deponierenden Abfälle sofort, d. h. nach dessen Inkraft-Treten im Jahr 1996. Dies bedeutete für Betreiber von Deponien, dass kurzfristig Maßnahmen zur Reduzierung der abzulagernden Abfallmengen bzw. zur Erhöhung der Einbaudichte zu ergreifen waren.

Eine wesentliche Möglichkeit zur Reduzierung der auf Deponien abzulagernden Mengen stellt eine einfache mechanische Vorbehandlung dar, wobei durch Grobzerkleinerung, Siebung und Metallabseidung eine heizwertreiche Fraktion zur energetischen Verwertung bzw. thermischen Nutzung und Metalle zur stofflichen Verwertung abgetrennt werden. Abbildung 1 zeigt dieses einfache Vorbehandlungskonzept vor der Deponie:

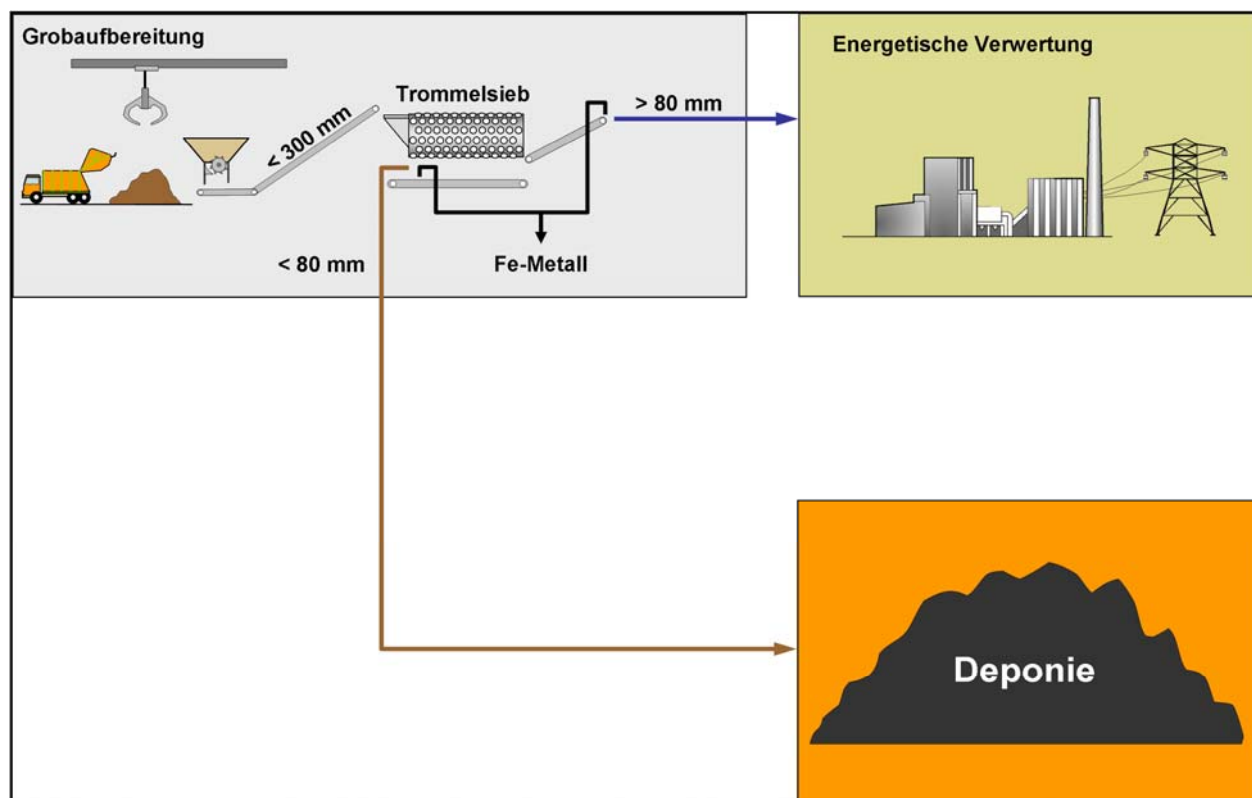


Abbildung 1: Einfache mechanische Vorbehandlung vor der Deponie bis 2005

Einfache mechanische Vorbehandlungen erfüllten die Ziele der TASI bis 2005, jedoch trotz einer weiteren biologischen Behandlung nicht über Mitte 2005 hinaus.

Auf Bestreben der neuen Bundesländer sowie des Landes Niedersachsen wurden daher ab Mitte der 90er Jahre Untersuchungen angestrengt, Bedingungen aufzuzeigen, unter denen mechanisch-biologische Abfallbehandlungsverfahren zu einer thermischen Behandlung gleichwertig sind, die sogenannten Gleichwertigkeitsnachweise. Diese Gleichwertigkeitsnachweise betrafen sowohl die Abluft, als auch die Eigenschaften des abzulagernden Deponates und des Abwassers. Abbildung 2 zeigt prinzipiell die MBA-Technik, mit der die Untersuchungen zum Gleichwertigkeitsnachweis durchgeführt wurden, d. h. als reine Endrotteanlage noch ohne Regenerativ Thermische Oxidation (RTO).



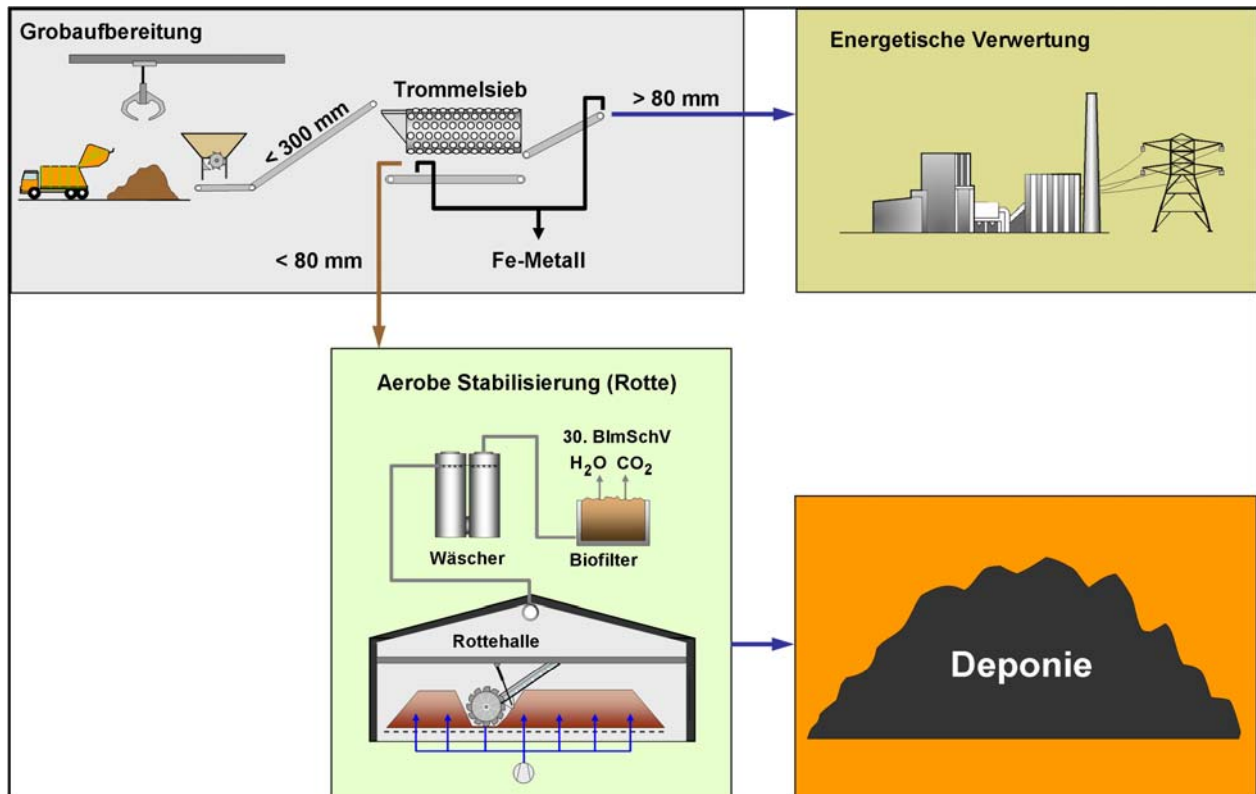


Abbildung 2: MBA bis 2005 – Ausgangsbasis für den Gleichwertigkeitsnachweis

Die Modifikation der Methode zur Erreichung der Ziele der TASI unter Berücksichtigung der Gleichwertigkeitsnachweise mündete im Jahr 2001 in der Artikelverordnung (ArtikelV). Bei der Festlegung der Grenzwerte für die abzulagernde Fraktion in Artikel 1 (Abfallablagerungsverordnung) orientierte sich der Gesetzgeber an den abzulagernden Reststoffen thermisch behandelter Abfälle. So wurden Grenzwerte für Atmungsaktivität AT4, Gasbildungsrate GB21 und TOC im Eluat festgelegt, die eine weitgehende biologische Inaktivität garantieren. Die Grenzwerte für TOC im Feststoff bzw. den oberen Heizwert wiederum orientierten sich an den technischen Möglichkeiten einer MBA.

Die in Artikel 2 Artikelverordnung (30. BImSchV) genannten Grenzwerte für die Abluft orientierten sich an den Grenzwerten der 17. BImSchV für thermische Abfallbehandlungsanlagen, wobei der Bundesgesetzgeber in der Begründung zu § 6 der 30. BImSchV für die MVA von einem spezifischen Abgasvolumen von 5.500 m<sup>3</sup> pro Tonne Siedlungsabfall ausgegangen war. Die Emissionen aus einer Verwertung / Behandlung der heizwertreichen Fraktion aus der MBA wurden dabei nicht berücksichtigt. Bei der Festlegung der Anforderungen in Artikel 3 (Anhang 23 zur Abwasserverordnung) an Abwasser wurde eine weitgehende Kreislaufführung des Abwassers gefordert, so dass ein abwasserfreier Betrieb einer MBA analog zu einer MVA angestrebt wird. Dennoch anfallendes Abwasser muss entsprechend dem Stand der Abwasserbehandlungstechnologie gereinigt werden.

In Abbildung 3 ist die MBA-Technik dargestellt, die sich aus den Anforderungen der Artikelverordnung ergibt, d. h. mit einer Vergärung und einer Abluftreinigung mittels Wäscher und RTO.

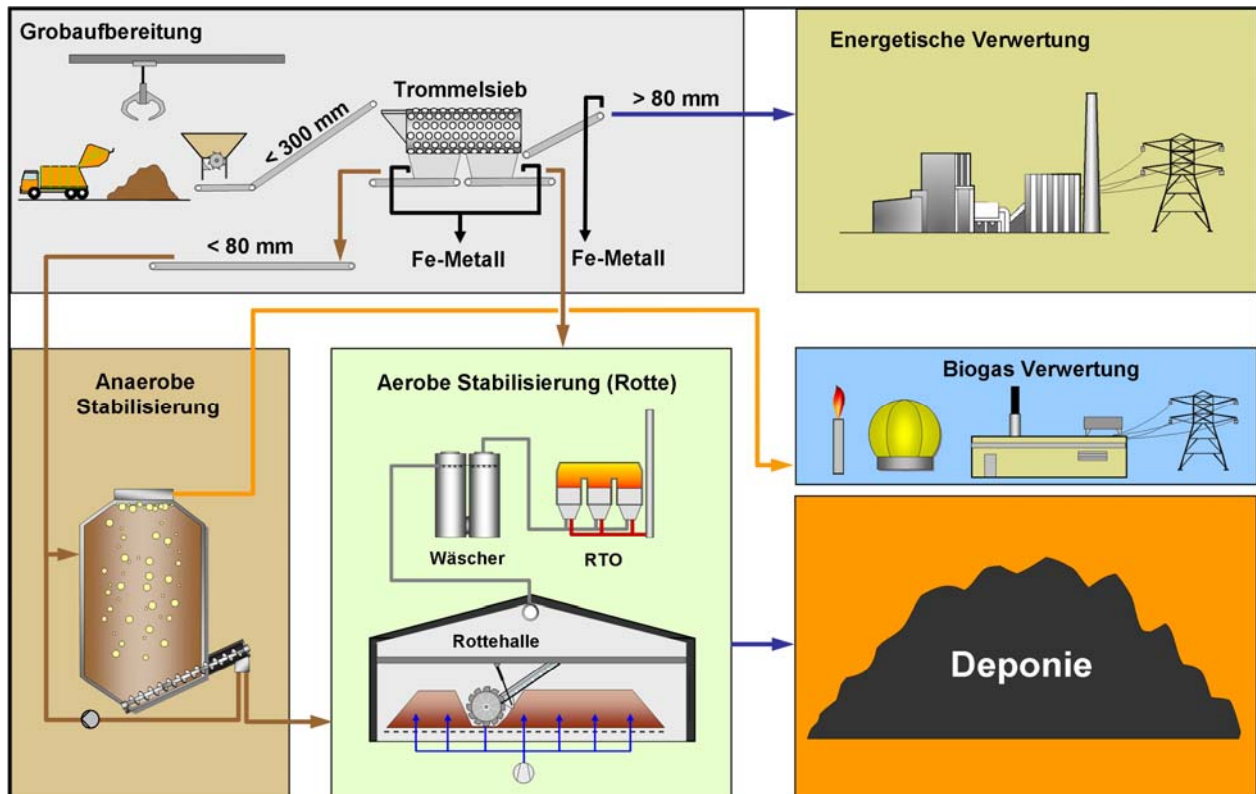


Abbildung 3: 2005 bis 2020 – Konsequenzen der Artikelverordnung

Die Artikelverordnung ermöglicht erst die MBA-Technologie, jedoch sind die Anforderungen sehr hoch. Bestehende MBA-Anlagen mussten nachgerüstet bzw. komplett umgebaut werden. Die Anforderungen der Artikelverordnung wurden Mitte 2006 im Zuge der notwendigen Anpassung der Deponieverordnung an europäisches Recht besonders bezüglich des Parameters TOC im Eluat weniger scharf gefasst.

Moderne MBA-Anlagen basieren auf einer Vergärung als biologisches Behandlungsverfahren. Die thermisch zu behandelnde Abluftmenge wird deutlich reduziert. Bei der Vergärung wird ein Teil des Energieinhaltes der Feinfraktion zur Biogasproduktion genutzt.

Aber auch MBA-Verfahren mit Vergärung und Deponierung der biologisch behandelten Reststoffe entsprechen nicht der Vorstellung einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Abfallwirtschaft, da immer noch wesentliche Bestandteile des Abfalls ungenutzt abgelagert bzw. mit niedrigen Wirkungsgraden thermisch behandelt werden.

Die ursprüngliche Motivation für die MBA-Technik war höchst modern, die getroffenen Ansätze müssen jedoch durch den fortschreitenden Nachhaltigkeitsgedanken im Bereich der Abfallwirtschaft neu bewertet werden.

## 2.2 Zielsetzung

Mit dem DBU-Projekt „Nassmechanische Trennung NMT“ AZ 08449 sollte gezeigt werden, dass auch Abfälle, die zurzeit als nicht verwertbar gelten, so aufbereitet werden können, dass eine Verwertung – ob stofflich, werkstofflich oder energetisch – möglich ist.

Es stellt sich daher für die nach einer Grobaufbereitung entsprechend den Abbildungen 1 bis 3 verbleibende Abfallfraktion die Frage der Behandlungstechnik vor einer Verwertung. Diese Vorbehandlung muss wiederum den Ansprüchen der Nachhaltigkeit genügen sowie Ressourcenschonung und Immissionsvermeidung bei gleichzeitiger wirtschaftlicher und sozialer Verträglichkeit gewährleisten. Das in diesem Projekt erprobte Verfahren soll eine Lösung für eine zukunftsfähige Abfallwirtschaft bieten.

EcoEnergy hat ein innovatives Verfahren zur nassmechanischen Aufbereitung von Abfällen entwickelt, das in dem vorliegenden Förderprojekt in der Praxis untersucht wurde. Verfahrensziel ist die Erzeugung von Wertstoff-Fractionen - Biomasse, Sand, Kies, und Steine - aus Bioabfall- und Restabfallfraktionen < 80 mm. Durch eine nassmechanische Trennung und Waschung sollen schadstoff-reduzierte Wertstoffe erzeugt werden. Es wurden neben der Verfahrenseignung auch die Verwertungsmöglichkeiten der Outputfraktionen untersucht, um die Forderungen einer vollständigen Verwertung der Reststoffe bis spätestens zum Jahr 2020 mit diesem Verfahren zu erfüllen.

### **2.3 Aufgabenstellung**

Folgende Parameter sollten für eine großtechnische Umsetzung des Verfahrens ermittelt werden:

- Durchführbarkeit der nassmechanischen Trennung;
- Auslegung der Einzelkomponenten bzgl. Verweilzeit und Leistung;
- Massenbilanz für die Gewährleistung der Outputströme;
- Ermittlung der Reinheitsgrade der Outputströme durch die Bestimmung der Mineral- und Organikanteile
- Verwertbarkeit der Restfraktionen unter besonderer Berücksichtigung der Inertstoffe;
- Qualität und Quantität des Abwassers zur Dimensionierung einer Abwasserbehandlung;
- Ermittlung der Schadstoffverteilung über die Inertstoff-Fractionen zur gezielten Ausschleusung von Schadstoffen;
- Energiebilanz;
- Datenerhebung für eine spätere vergleichende Ökobilanzierung;

Gegenstand des Projektes war die Erprobung des Verfahrens und der Nachweis der großtechnischen Machbarkeit der nassmechanischen Trennung von Abfällen in die folgenden Fraktionen:

- verwertbare Inert- bzw. Mineralstoffe
- verwertbare Organik bzw. Biomasse
- gereinigtes Abwasser.

Abfälle im Sinne dieses Projektes sind alle Abfälle, die als trennbares Dreistoffgemisch aus Inertstoffen, Biomasse und Wasser definiert werden und nicht direkt einer Verwertung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zugeführt werden können.

Eine direkte Verwertung dieser Abfälle ist wegen zu hoher Organikanteile zur Mineralstoffverwertung, zu hoher Wasser- und/oder Mineralikanteile zur Biomasseverwertung und zu hoher Abwasserbelastung zur Einleitung in vorhandene Abwasserreinigungsanlagen nicht gegeben.

Das Vorhaben umfasste Entwicklung, Bau und Betrieb einer Containerversuchsanlage zur nassmechanischen Trennung, um das Verfahren zu erproben.

In einem dreistufigen Prozess sollen Inertstoffe und Organik aus Rest- und Bioabfall unter Zugabe von Wasser abgetrennt werden. Inertstoffe wie Kies und Sand werden nach der Abscheidung gewaschen und können weiter verwertet werden. Der im Wasser gelöste leichtabbaubare Organikanteil kann in einem anaeroben Behandlungsverfahren zu Biogas umgesetzt werden, die abgetrennte Feststofforganik kann entweder entwässert und mittels Abwärme aus der Biogasverwertung getrocknet oder ebenfalls mitvergoren werden.

Durch das Projekt sollte der Nachweis erbracht werden, dass die vollständige Trennung nasser, inertstoffhaltiger, organischer Reststoffe ökonomisch und ökologisch durchführbar ist. Sowohl die Organik als auch die Inertstoffe können im natürlichen Stoffkreislauf verbleiben.

### 3 Material und Methoden

Zum Nachweis der Verfahrenseignung wurde eine Containerversuchsanlage im Demonstrationsmaßstab geplant, gebaut und in Betrieb genommen. Mit verschiedenen Abfallfraktionen erfolgte der Probebetrieb.

Zur Optimierung der Qualität der Wertstoffe wurden umfangreiche Umbauten und Verfahrensoptimierungen anhand der Probebetriebserfahrungen durchgeführt. Nach den Verfahrensoptimierungen erfolgten Versuche zur Massenbilanzierung und Energiebilanzierung und zum Nachweis der Verwertbarkeit der Reststoff-Fraktionen aus dem NMT-Verfahren.

Neben der verfahrenstechnischen Qualitätsoptimierung und Analytik der Organikfraktionen und der Inertstoff-Fraktionen Sand, Kies und Steine wurden auch weiterführende Aufbereitungsverfahren getestet und mit den Ergebnissen des NMT-Verfahrens verglichen.

Die Trennbarkeit von nativer Organik bzw. Biomasse von fossiler Organik wie z.B. Kunststoffe wurde erst nach Abschluss des Forschungsprojektes entdeckt, aber dennoch in die Projektdokumentation aufgenommen.

Die separierte Biomassefraktion wurde für die Eignung zur stofflichen Verwertung als Kompost und Dämmstoff sowie zur energetischen Verwertung in Kohlekraftwerken in Kooperation mit der swb Erzeugung GmbH & Co. KG, Bremen untersucht.

Zur Integration des NMT-Verfahrens in ein Abfallwirtschaftskonzept wurden diverse Studien zum Stand der Technik und Weiterentwicklungen zur Verwertung der vom NMT-Verfahren nicht erfassten Grobfraktion zur Wertstoffgewinnung und optimierten energetischen Verwertung durchgeführt.

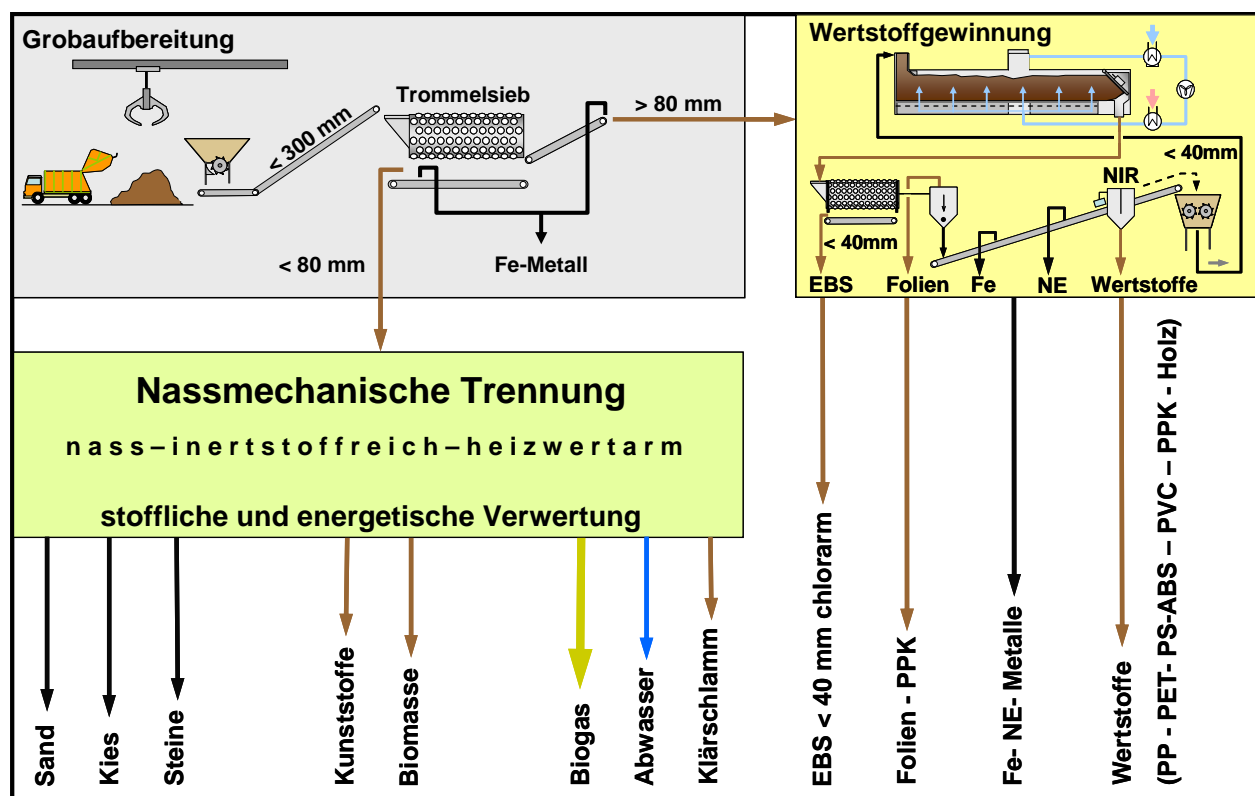


Abbildung 4: Einordnung NMT-Verfahren in ein Abfallwirtschaftskonzept

### 3.1 Verfahrensbeschreibung

Die Abfall-Feinfraktion < 50 mm bzw. 50 – 100 mm wird mit dem NMT-Verfahren in Inertstofffraktionen, Organikfraktionen und eine Flüssigfraktion, die gelöste Stoffe sowie feinste Inertstoffe < 100 µm und Organikpartikel < 1 mm enthält, aufgetrennt. Als Trennmedium wird Kreislaufwasser verwendet. Aufgrund des fehlenden Wasserhaltevermögens können Inertstoffe bis auf einen Restwassergehalt <5 % und organische Produkte bis zu einem Restwassergehalt von < 40 % mechanisch entwässert werden. Durch vorherige Fraktionierung und Inertstoffabscheidung wird eine Thermo-Mechanische-Zellyse (TMZ) ermöglicht, die eine Zerkleinerung und einen Zellaufschluss und damit einen erhöhten Entwässerungsgrad der organischen Fraktion bewirkt.

Die Inertstoffe werden soweit mit Kreislaufwasser und Frischwasser gereinigt, dass sie einer Verwertung zugeführt werden können. Bei Bedarf kann die Qualität der groben Inertfraktion über eine Bauschutttaufbereitung verbessert werden. Aus den Inertfraktionen können folgende Produkte gewonnen werden:

- Steine
- Kies
- Sand
- Feinsand
- Schluff

Die Organikfraktionen werden nach ihrer Absiebung in Schneckenpressen entwässert, wobei durch die speziellen Prozessbedingungen der Thermo-Mechanischen-Zellyse das Zellwasser ebenfalls erfasst wird und so eine weitgehende Entwässerung erreicht wird. Zudem wird die lösliche, gut vergärbare Organik quantitativ in das abgepresste Wasser überführt.

Der Schadstoffgehalt in den Biomassefraktionen ist verfahrensbedingt gering. Chlor ist durch die Kunststoffabtrennung nicht als PVC enthalten und kann nur als Salz gelöst im Wasser vorhanden sein. Durch den hohen Entwässerungsgrad ohne thermische Trocknung werden alle löslichen Schadstoffe mit dem Press- und Waschwasser, je nach Waschwasseraufbereitungs- und Presskonzept, zu 50 % bis 90 % ausgetragen, die Qualität der Biomassefraktionen wird somit erhöht.

Das Abpressen der Organikfraktionen 2 und 3 erfolgt zur Erhöhung der Effizienz der Abpressung bei Temperaturen von > 70°C, wobei ein Teil der Wärmeenergie durch Dampf, in der großtechnischen Umsetzung erzeugt aus BHKW-Abwärme, und zusätzlich durch die Pressen in das Material gebracht wird.

Zur Pelletierung ist eine Trocknung erforderlich. Nach der Trocknung wird die Organik bei 15 mm gesiebt, wobei im Siebüberlauf die verbleibenden Kunststoffe abgetrennt werden.

Im Siebdurchgang befindet sich zu fast 100 % native Organik, mit dem Markennamen BioFluff®. Der getrocknete und gesiebte BioFluff® wird entsprechend dem vorgesehenen Verwertungsweg konfektioniert. BioFluff® ist eine schadstoffreduzierte, trockenstabilisierte, aufgefaserete Biomasse und als Rohstoff vielseitig einsetzbar. Für eine direkte energetische Verwertung des BioFluff® aus Restabfall ist eine Brikettierung oder Pelletierung vorgesehen.

Die leicht vergärbare Organik des Restabfalls wird quantitativ in das Kreislaufwasser überführt. Das Kreislaufwasser inkl. der suspendierten Organik < 1 mm wird der Vergärung zugeführt, wobei ein Vergärungsverfahren mit Biomasserückhaltung eingesetzt wird.

Der CSB-Abbau liegt abhängig vom anaerob abbaubaren CSB-Anteil bei 85 % bis 95 % und die Verweilzeit bei ca. 5 bis 10 Tagen gegenüber 18 bis 21 Tagen bei konventionellen Biogasanlagen. Das erzeugte Biogas wird im BHKW verwertet, der erzeugte Strom eingespeist und die Wärme zur Gärresttrocknung und Trocknung der Organik aus Bio- und Restabfall vor der Pelletierung oder Brikettierung.

Der Ablauf aus der Vergärung wird in einem Aerob-Reaktor mit Biomasserückführung nachbehandelt und kann als Waschwasser für das NMT-Verfahren zurückgeführt oder als Überschusswasser der weitergehenden Abwasserbehandlung zugeführt und dann eingeleitet werden.



Der Gärrest, der in der Anaerob- und Aerobstufe der Abwasserbehandlung anfällt, ist die Schadstoffsenke des Gesamtverfahrens.

Gegenstand des Forschungsprojektes war die Erprobung des nassmechanischen Verfahrensteils. Nachfolgende Abbildung zeigt die Nassaufbereitung im Überblick:

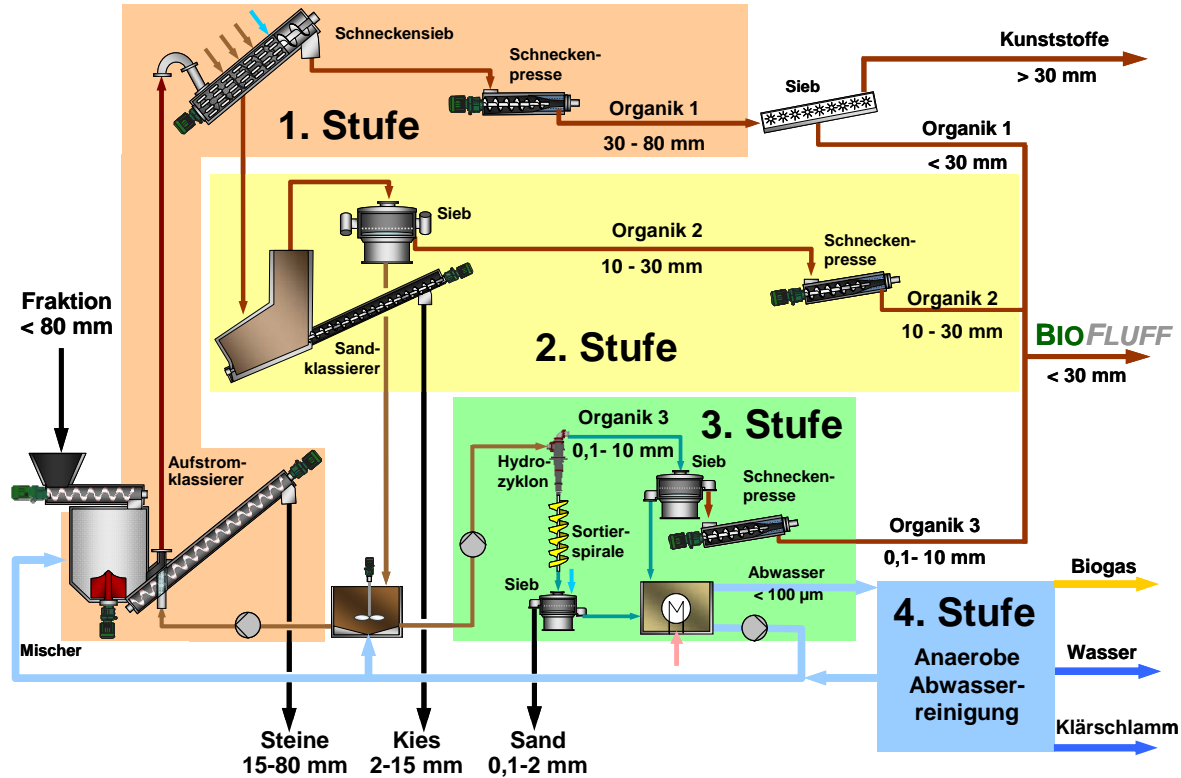


Abbildung 5: Verfahrensfliessbild NMT-Verfahren

Eine Abfallfraktion < 80 mm wird in einem Mischer mit Kreislaufwasser versetzt. Mit einem Aufstromklassierer werden zunächst die groben Steine und Inertstoffe (Inert 1) separiert. Danach kann die grobe Organik (Organik 1), die dann entsprechend frei von den Steinen der entsprechenden Siebgröße ist, abgesiebt und danach, da es sich um grobe Organik handelt, leicht mit geringen Wassermengen von Sand und von anhaftender feiner Organik freigespült werden.

Die rechengutähnliche Fraktion (Organik 1) kann dann mit einfachen Presstechniken bei geringem Verschleiß auf hohe Trockensubstanzgehalte abgepresst werden.

Dies wird erreicht durch die Abwaschung von aller feinen Organik, die nur sehr schwer abzupressen ist, und aufgrund der Auswaschung des Steingerüsts bzw. des Gerüsts aus Inertstoffen, welches sonst vorrangig die Presskraft aufnimmt ohne dabei zu einer großen Entwässerung beizutragen.

Dieser erste Schritt ist der wichtigste Schritt des gesamten Verfahrens. Durch die hohe Abpressung der groben Organik (Organik 1) wird schon in diesem Verfahrensschritt das strukturreiche Material zur energetischen Verwertung durch Verbrennung oder Vergasung von der vergärbaren Organik, die sich im Presswasser befindet, abgetrennt.

Bei entsprechender Pressung ist in einer ersten Pressstufe mit normalen Schneckenpressen ein Entwässerungsgrad von ca. 45 % – 60 % Trockensubstanzgehalt zu erreichen.

In einer 2. Pressstufe kann dieses Material (Organik 1) auf 65 % – 75 % Trockensubstanzgehalt abgepresst werden.

Die organische Fraktion (Organik 1) kann nach der Vorbehandlung direkt oder nach einer Trocknung durch Verbrennung oder Vergasung verwertet werden.



Nachdem die groben Steine (Inert 1) und die grobe Organik (Organik 1) von der Material suspension abgeschieden sind, hat sich der Trockensubstanzgehalt der verbleibenden Suspension stark reduziert. Diese Reduzierung ist verursacht durch das Abschöpfen von Trockensubstanz mit hohem Trockensubstanzgehalt wie z. B. der Steine mit einem Trockensubstanzgehalt > 90 % und der abgepressten Organik mit einem Trockensubstanzgehalt von > 65 %. Des Weiteren wird zur Spülung der Inertstoffe und zur Spülung der Organik zusätzliches Wasser eingesetzt, das zu einer weiteren Reduzierung des Trockensubstanzgehaltes führt. Aus der verbleibenden Suspension werden in der 2. und 3. Stufe des Verfahrens weitere Inertstoffe abgeschieden.

In der 2. Stufe wird grober und feiner Sand in der Korngrößen von ca. 2 mm bis 25 mm (Inert 2) abgeschieden.

In dem darauf folgenden Schritt kann über ein feines Sieb, dessen Maschenweite größer ist als die maximal abzuschneidende Inertstoffgröße von ca. > 3 mm, die organische Fraktion bei ca. 5 mm abgesiebt werden (Organik 2). Die abgesiebte organische Fraktion (Organik 2) wird ebenfalls mit Wasser nachgewaschen und abgepresst.

Der Kies (Inert 2), der in dieser Stufe abgeschieden wird, wird über einen Sandabscheider ausge tragen, mit Kreislaufwasser nachgespült und mit klarem Wasser nachgewaschen, so dass entsprechend dem Frischwassereinsatz entweder eine deponiefähige Inertstoff-Fraktion oder eine verwertbare Kiesfraktion entsteht.

Es folgt zuletzt die 3. Stufe des Verfahrens, in der nun zum ersten Mal eine Pumpe in dem gesamten Verfahrensablauf eingesetzt wird.

Bedingt durch das Abschöpfen der verschiedenen Inert- und Organikfraktionen, die weitestgehend trocken abgeschieden werden, sowie durch die insgesamt zugeführten Kreislauf- bzw. Frischwassermengen, ist die bei ca. 5 mm gesiebte Suspension nun soweit im Wassergehalt gestiegen, dass sie zusammen mit der Korngröße ca. < 5 mm und dem Trockensubstanzgehalt zwischen 3 %– 8 % ideal für einen nachfolgenden klassierenden Hydrozyklon geeignet ist.

Der Überlauf des Hydrozyklons (Organik 3) enthält die restlichen Feinbestandteile der Organik, die von Feinmineralien befreit sind. Der Unterlauf des Hydrozyklons (Inert 3) enthält die abgeschiedenen Inertstoffe, die aber aufgrund ihrer Feinheit noch teilweise mit anhaftender Organik kontaminiert sind.

Diese Feinmineralik (Inert 3) kann mittels einer weiteren Aufbereitung, wie z. B. durch eine Sortier spirale oder Feinsiebung mit Waschung, auf verwertbare Qualitäten gebracht werden. Die organische Fraktion des Siebüberlaufs (Organik 3) wird einer Feinsiebung bei ca. 100 µm zugeführt.

Der bei der Feinsiebung entstehende Filterkuchen (Organik 3) kann ebenfalls abgepresst werden. Zusätzlich zu den insgesamt 6 Fraktionen entsteht ein Kreislaufwasser, das mit gelöster Organik durch die verschiedenen Pressungen und Waschungen angereichert ist.

Damit ist ein großer Teil der vergärbaren Organik in das Kreislaufwasser überführt worden, während der schlechter vergärbare, strukturreiche Anteil in der abgepressten Fraktion enthalten ist. Das Kreislaufwasser sollte nun zur Reduzierung der Viskosität durch ein biologisches Verfahren konditioniert werden. Würde das Kreislaufwasser nicht behandelt, könnte die Viskosität soweit ansteigen, dass das Kreislaufwasser nicht mehr als Trennmedium der Inertstoffabscheidung verwendbar ist.

Für die Behandlung des Kreislaufwassers stehen nun anaerobe Abwasserreinigungsverfahren, wie das Festbettvergärungsverfahren bzw. das Hochleitungsvergärungsverfahren mit interner oder externer Biomasserückhaltung zur Verfügung. Aufgrund des Fehlens von schwerabbaubaren Inhaltsstoffen kann das Kreislaufwasser auch in einfachen Gärbehältern ohne Einbauten und ohne Biomasserückhaltung innerhalb von 5 – 10 Tagen mit einer Abbauleitung von 85% - 95% der organischen Trockensubstanz vergoren werden.

### 3.2 Technische Daten

Tabelle 1: Technische Daten Versuchsanlage

Baujahr	2004
Abmessungen	40-Fuß-Container mit Aufbauten
Nenndurchsatz	1 t/h
Antrieb:	elektrisch
Betriebsmittel	Wasser

Die Versuchsanlage ist in einem 40-Fuß-Container eingebaut. In einem Teil des Containers ist der Steuerschrank sowie ein Labor untergebracht, in dem Vor-Ort die Bestimmung von Wassergehalt und Glühverlust durchgeführt werden kann.

Die Anlage ist mobil und wurde bereits an mehreren Standorten betrieben. Die Containeraufbauten können zum Transport leicht demontiert werden, so dass ein Straßentransport auf einem LKW-Auflieger problemlos möglich ist.

### 3.3 Aufstellungsplan der Versuchsanlage

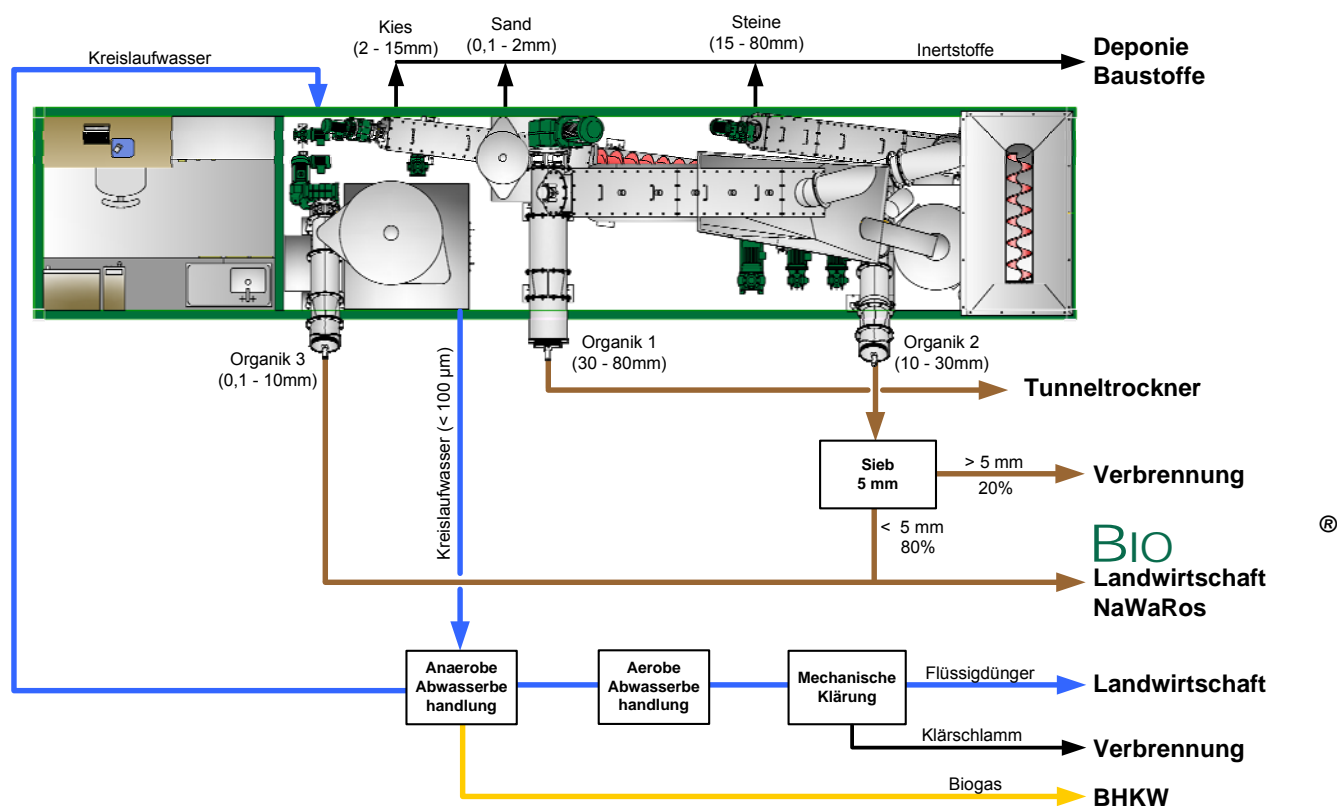


Abbildung 6: NMT-Versuchsanlage mit Verwertungsmöglichkeiten der Produkte Draufsicht

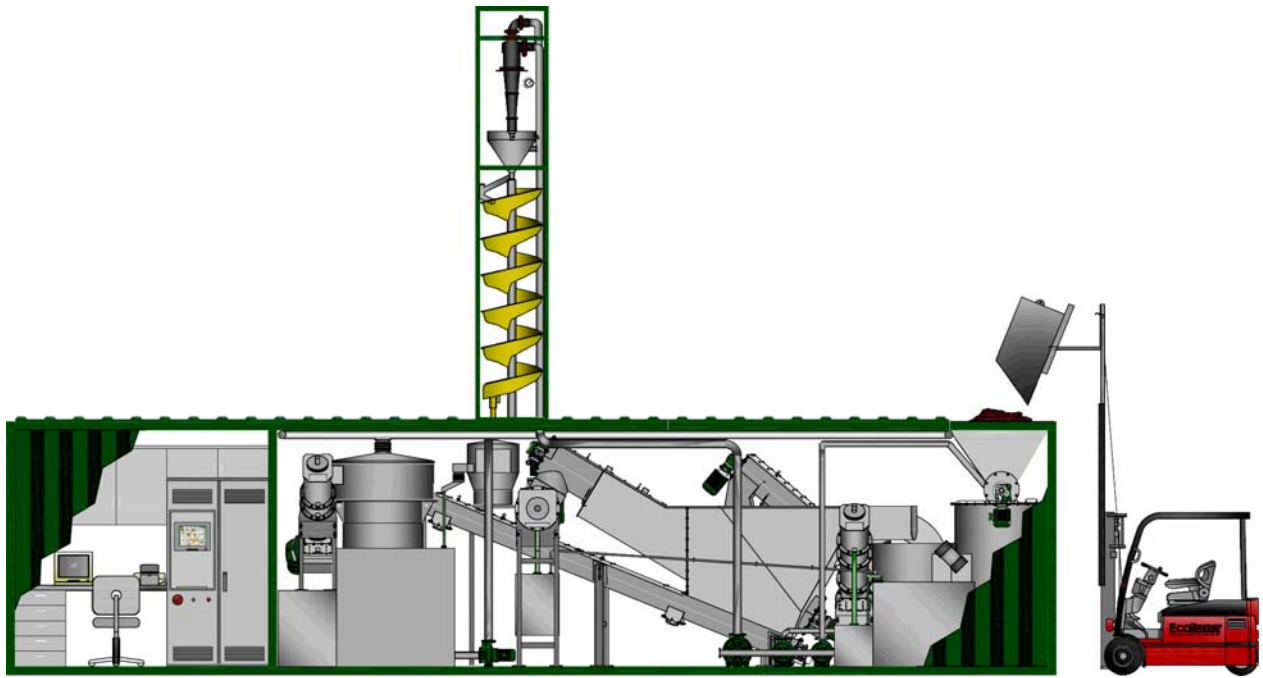


Abbildung 7: NMT-Versuchsanlage Seitenansicht

### 3.4 Zeitlicher Ablauf des Projektes

Datum	Beschreibung
01.11.1999	Förderantrag an DBU, Bewilligungsempfänger EcoEnergy, Partner Universität Essen und Segler Förderanlagen GmbH
04.11.2002	Bewilligung DBU
13.12.2002	Vertrag Uni Essen
21.04.2003	Vertrag Segler
02.06.2003	Planungsübergabe EcoEnergy an Segler
09.06.2003	Ausführungsplanung Segler
18.02.2004	Grobmontage
07.05.2004	Wasserfahrt
28.05.2004	Kalt-IBN
07.06.2004	Lieferung nach Wiefels
07.06.2004	Herstellung der Betriebssicherheit mit Wasser Nachweis der vollen Funktionsweise mit Wasser im Automatikbetrieb
10.06.2004	Einjustierung Rührbehälter, Einstellen der Viskosität in Abhängigkeit von der Stromaufnahme von dem Rührer R103
11.06.2004	Besprechung Versuchsdurchführung Festlegen von Prüfungen und Versuchsplan
17.06.2004	Erste Versuchsreihe mit Restmüll
18.06.2004	Besprechung Ergebnisse erste Versuchsreihe Abstimmung der 2ten Versuchsreihe
24.06.2004	Zweite Versuchsreihe mit Restmüll
25.06.2004	Besprechung Ergebnisse 2te Versuchsreihe Abstimmung der 3ten Versuchsreihe
28.06.2004	Umbau der Schneckenpressen (Köpfe)
01.07.2004	Dritte Versuchsreihe mit Restmüll
02.07.2004	Besprechung Ergebnisse 3te Versuchsreihe Abstimmung der 4ten Versuchsreihe
08.07.2004	Vierte Versuchsreihe mit Restmüll
09.07.2004	Besprechung Ergebnisse 4te Versuchsreihe
28.09.2004	Rücklieferung Segler
04.01.2005	Überholung Pressschnecken, Siebe, Optimierungen Rohrleitungen, Armaturen, MSR-Technik, Einbau Rührer
10.01.2005	Lieferung nach Walkenried
07.04.2005	Funktionstest gesamter Container nach Frostperiode
15.04.2005	Probelauf Wasserfahrt Gesamtanlage nach Frostperiode
	Tests Hardware, Messtechnik, Steuerung Umbaumaßnahmen, Kalibrierung
20.05.2005	Kaltinbetriebnahme
06.06.2005	Versuch Kalibrierung Rührer mit Bioabfall
15.06.2005	Versuch Bioabfall
	weitere Umbaumaßnahmen
07.07.2005	Versuch Bioabfall 2 Mg/h über 1,5 h
	weitere Umbaumaßnahmen
13.07.2005	Versuch Bioabfall 350 kg/h über 2 h
08.09.2005	Versuch Bioabfall
	weitere Umbaumaßnahmen
10.10.2005	Versuch Bioabfall - Test Umbauten

12.10.2005	Versuch mit Sand, Kies, Organik-Gemisch
	weitere Umbaumaßnahmen
18.10.2005	Versuch Bioabfall – Einstellungen Hydrozyklon
	weitere Umbaumaßnahmen
30.10.2005	Versuch Bioabfall
04.11.2005	Probefahrt mit Frischwasser und Material
08.11.2005	Behälter B112 entleeren und reinigen
10.11.2005	Probefahrt
	Weitere Ein- und Umbauten Isolierung Container, Überdachung gegen Regen
08.05.2006	Funktionstest gesamter Container nach Frostperiode
09.05.2006	Probelauf: Wasserfahrt nach der Frostperiode
	weitere Umbaumaßnahmen
17.05.2006	Probelauf nach Umbau der Pressen und P108a(MTS)
	weitere Umbaumaßnahmen
10.07.2006	Versuch Bioabfall AHA Hannover
01.08.2006	Probefahrt nach Umbau
02.08.2006	Versuch Bioabfall AHA Hannover
	Frequenzumrichter nachrüsten, Motoren ersetzen
<b>ENDE Fortschungsprojekt</b>	
07.09.2006	Versuch Restabfall - Expertenforum NMT
	weitere Umbauten, Umprogrammierung Steuerung
08.11.2006	Probefahrt nach der Umprogrammierung, Funktionstest der Steuerung
	Klärbehälter einbauen, Flächenabdichtung Standplatz Container, weitere Funktionstests
20.12.2006	Probefahrt nach den Umbauarbeiten/Klärbehälter
	Umbauten, Funktionstests
16.02.2007	1. Versuch mit Maissilage am 16.02.07
23.02.2007	2. Versuch mit Maissilage
	Umbauten, Reparaturen, Ersetzen Getriebe
14.05.2007	Probelauf nach Umbau
22.05.2007	Probelauf nach 2 Rep. Prelonring
	Testläufe, Umbauten, Reparaturen
05.07.2007	Präsentationsbetrieb
	Testläufe, Umbauten, Reparaturen
09.08.2007	Versuch mit Restabfall
	Reparaturen, Reinigung Anlage
14.08.2007	Siebversuch: 10 mm, 5 mm und 2 mm
07.09.2007	Präsentationsbetrieb am 07.09.07 für die Kalifornische Delegation
2008	Versuchsbetrieb KBA Hard, Schaffhausen, Schweiz
2009	Auslegungsversuche Walkenried für Ausführungsplanung KBA Hard



### 3.5 Standorte



Abbildung 8: Standort Wiefels



Abbildung 9: Standort Walkenried

### 3.6 Material

Am Standort Wiefels wurden die Versuche mit Material (Restabfall < 80 mm aus der Grobaufbereitung) aus dem AWZ Wiefels durchgeführt. Aufgrund des Umstands, dass sich die Anlage Wiefels



selbst noch im Probetrieb befand, war die Verfügbarkeit und Zusammensetzung des Materials schwankend.

Nach der Überführung an den Standort Walkenried wurden Versuche mit Restabfall < 60 mm sowie Bioabfall aus der MBA des Zweckverbandes Abfallwirtschaft Hannover und aus der MBA Südniedersachsen in Göttingen durchgeführt. Die Logistik wurde mit der in Walkenried bestehenden Niederlassung der Firma Veolia Umweltservice abgewickelt.

Weitere Versuche mit Maissilage, Grassilage und Strauchschnitt wurden nach Abschluss des Forschungsprojektes im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für die Firma Vattenfall Europe New Energy GmbH, in erfolgreich durchgeführt. Weitere Versuche, finanziert vom Kläranlageverband Schaffhausen, Neuhausen am Rheinfl, Feuerthalen und Flurlingen, Schweiz, wurden mit Restabfall, Bioabfall und Strauchschnitt durchgeführt. Die Einsatzmaterialien und Versuchsergebnisse sind dem Anhang zu entnehmen.

### **3.7 Analytik**

Zahlreiche Versuche wurden zur Optimierung der Anlagentechnik durchgeführt. Die Bewertung der Ergebnisse wurde sowohl optisch als auch durch Bestimmung von Glühverlust und Wassergehalt im Labor der Containerversuchsanlage Vor-Ort bestimmt.

Bilanzierungen und Schadstoffanalytik wurden mit der optimierten Anlage in weiteren Versuchen durchgeführt. Für die Massenbilanzierung wurden In- und Output des Versuchs verwogen und Wassergehalt und Glühverlust Vor-Ort bestimmt.

Die Schadstoffanalytik wurde durch die Universität Essen durchgeführt, sowie nach Abschluss des Projektes durch das Labor Wessling GmbH.

## **4 Ergebnisse**

### **4.1 Energiebilanz**

Die Energiebilanz zeigt, dass durch die Waschung und Pressung Energie gewonnen wird. Dies ist erklärbar, da Wasser nach der Definition des unteren Heizwertes eine negative Energie aufweist. Durch die Waschung, Pressung und Vergärung wird die Restfraktion entwässert und das Wasser ohne Aufwendung thermischer Energie als Abwasser aus dem System entlassen. Dadurch erhöht sich in der Bilanz der Energiegehalt der Produkte Biogas und trockene Biomassefraktion.

In der folgenden Tabelle wird dieser Zusammenhang für das Material Restabfall deutlich. Ohne Berücksichtigung des elektrischen Eigenbedarfs des NMT-Prozesses haben die das System verlassenden Feststoffe zusammen mit dem Biogas 15% mehr Energie als der Abfallinput, bei Abzug des elektrischen Eigenbedarfs bzw. Abzugs des dafür erforderlichen Biogases verbleiben noch 95% der eingesetzten Energie in den Feststoffen.

Tabelle 2: Energiebilanz NMT-Verfahren Restabfall < 80 mm

NMT Energiebilanz	Energie		Heizwert			Bio- masse	Kunststoffe
	kW	%	Hu(roh)	Hu(wf)	Hu(waf)		
	<b>889,4</b>	100,0%	<b>3.202</b>	9.439	20.975	<b>18.500</b>	<b>41.000</b>
Input Restabfall						89 %	11 %
<b>Organik</b>							
Organik 1	48,5	5,5%	<b>14.698</b>	31.838	35.375	25 %	75 %
Organik 2	280,5	31,5%	<b>10.442</b>	23.325	26.386	65 %	35 %
Organik 3	187,7	21,1%	<b>5.195</b>	16.650	18.500	100 %	
Summe Organik	516,7	58,1%	<b>7.795</b>	20.535	23.003	80 %	20,0%
<b>Inert</b>							
Inert 1	7,7	0,9%	<b>777</b>	1.095	36.500	20 %	80 %
Inert 2	11,3	1,3%	<b>898</b>	1.488	29.750	50 %	50 %
Inert 3	12,5	1,4%	<b>309</b>	1.488	29.750	50 %	50 %
Inert 4	-5,8	-0,7%	<b>-239</b>	1.963	19.625	95 %	5 %
Summe Inert	25,7	2,9%	<b>295</b>	1.525	26.707	63,5%	36,5%
Washwasser	347,1	39,0%	<b>2.788</b>	12.917	18.504	100 %	0 %
<b>Vergärung</b>							
BioGas aus Wasch- wasser	<b>500,7</b>	56,3%	<b>17.662</b>	18.500	18.500	100 %	
Abwasser		-17,3%	<b>-1.598</b>	2.902	18.556	99,8%	0,2%
<b>Siebung</b>							
Organik 2 > 5 mm	184,3	20,7%	<b>13.719</b>	29.879	33.800	32 %	68,0%
Organik 2 < 5 mm	96,3	10,8%	<b>7.165</b>	16.772	18.973	98 %	2 %
<b>Trocknung</b>							
Organik 2 < 5 mm	96,3	10,8%	<b>7.165</b>	16.772	18.973	97,9%	2,1%
Organik 3	187,7	21,1%	<b>5.195</b>	16.650	18.500	100 %	
SUMME Trocknung	283,9	31,9%	<b>5.729</b>	16.689	18.648	99,3%	0,7%
Wasserverdampfung	-63,6	-7,1%	<b>-2.441</b>	-	-	-	
SUMME Organik	<b>580,2</b>	65,2%	<b>14.417</b>	20.535	23.003	80 %	20 %
BioFluff Pellets	347,5	39,1%	<b>14.776</b>	16.689	18.648	99,3%	0,7%
EBS O1 + O2 > 5 mm	232,8	26,2%	<b>13.912</b>	30.265	34.115	30,6%	69,4%

Das NMT-Verfahren wurde nach den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit entwickelt und stellt sich in dieser positiven Form auch im Vergleich zur konventionellen Bioabfallvergärung oder zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe dar. Kompostierungsverfahren sind ökonomisch und ökologisch nicht mehr mit diesem zukunftsweisenden NMT-Verfahren vergleichbar.

## 4.2 Massenbilanz

Für die Massenbilanzen wurden Input und Output verwogen. Trockensubstanzbestimmungen und Bestimmung des Glühverlustes wurden sowohl vor Ort im Container-Labor als auch im Labor durchgeführt.

Aus den Massenbilanzen können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Verteilung Organik, Inertstoffe und Wasser
- Auswaschraten
- erwarteter Biogasertrag

Die erwarteten Biogasausbeuten entsprechen ca. 75% - 85% der Biogasausbeuten von hocheffektiven Vollstromvergärungsverfahren.

Bezeichnend für das Verfahren ist der niedrige Aschegehalt in den Organikfraktionen und der niedrige Organikgehalt der Inertfraktionen. Verfahrenstechnisch zu optimieren ist der Inertstoffgehalt im Washwasser. In der Versuchsanlage wird durch die Vielzahl der Pumpen mit hoher Drehzahl bis 3.000 U/min eine Feinschluff-Fraktion produziert, die mit der vorhandenen Zyklontechnik nicht mehr abzuschleiden ist. Diese verbleibt daher im Washwasser und könnte in der nachfolgenden Vergärung zu Ablagerungen führen. In den ersten Versuchen wurde keine Inert 4 Fraktion abgeschieden, wodurch sich im Washwasser höhere Aschegehalte ergaben.

In der folgenden Massenbilanz ist zu erkennen, dass die zu verwertenden Feststoffe nur noch einen Anteil von ca. 50 % des Abfallinputs darstellen und daneben keine weiteren Abfälle, mit Ausnahme der Schadstoffslenke Gärrest, zu beseitigen sind.

**Tabelle 3: Energiebilanz NMT-Verfahren Restabfall < 80 mm**

NMT Massenbilanz	Anteil der Fraktion in Gew%					Frischmasse [kg]	Wasser		TS		oTS		Asche		oTS bio	
	FM	er	TS	oTS	e		[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]
Input Restabfall	100%	100%	100%	100%	100%	1.000	52,5%	525	47,5%	475	45%	214	55,0%	261	89%	190
<b>Organik</b>																
Organik 1	1%	1%	1%	3%	0%	12	50,0%	6	50,0%	6	90%	5	10,0%	1	25%	1
Organik 2	10%	9%	10%	20%	2%	97	50,0%	48	50,0%	48	88%	43	11,6%	6	65%	28
Organik 3	13%	15%	11%	22%	2%	130	60,0%	78	40,0%	52	90%	47	10,0%	5	100%	47
Summe Organik	24%	25%	22%	44%	4%	239	55,4%	132	44,6%	106	89%	95	10,7%	11	80%	76
<b>Inert</b>																
Inert 1	4%	1%	7%	0%	12%	36	9,0%	3	91,0%	32	3%	1	97,0%	31	20%	0
Inert 2	5%	1%	8%	1%	14%	45	15,0%	7	85,0%	39	5%	2	95,0%	37	50%	1
Inert 3	15%	8%	21%	2%	37%	145	30,0%	44	70,0%	102	5%	5	95,0%	97	50%	3
Inert 4	9%	8%	9%	2%	15%	87	50,0%	44	50,0%	44	10%	4	90,0%	39	95%	4
Summe Inert	31%	19%	45%	6%	78%	313	31,0%	97	69,0%	216	6%	12	94,3%	204	64%	8
Washwasser	45%	56%	32%	50%	18%	448	66,0%	296	34,0%	153	70%	107	30,2%	46	100%	106
Vergärung																
Biogas aus Washwasser	10%	1%	21%	46%		102	4,0%	4	96,0%	98	100%	98			100%	98
	Abbaugrad oTS		92%			Biogasertrag		767	Nm <sup>3</sup> /t oTS		75 Nm <sup>3</sup> /t Input					
Abwasser	35%	56%	11%	4%	18%	346	84,2%	291	15,8%	55	16%	9	84,4%	46	100%	9
Siebung																
Organik 2 > 5 mm	5%	5%	5%	10%	1%	48	50,0%	24	50,0%	24	88%	21	11,6%	3	32%	7
Organik 2 < 5 mm	5%	5%	5%	10%	1%	48	50,0%	24	50,0%	24	88%	21	11,6%	3	98%	21
Trocknung																
Organik 2 < 5 mm	5%	5%	5%	10%	1%	48	50,0%	24	50,0%	24	88%	21	11,6%	3	98%	21
Organik 3	13%	15%	11%	22%	2%	130	60,0%	78	40,0%	52	90%	47	10,0%	5	100%	47
SUMME Trocknung	18%	19%	16%	32%	3%	178	57,3%	102	42,7%	76	89%	68	10,5%	8	99%	68
Wasserverdampfung	9%	18%	0%	0%		94	100%	94	0,0%	0	0%	0				
SUMME Organik	14%	7%	22%	44%	4%	145	26,6%	39	73,4%	106	89%	95	10,7%	11	80%	76
BioFluff Pellets	8%	2%	16%	32%	3%	85	10,0%	8	90,0%	76	89%	68	10,5%	8	99%	68
EBS O1+O2 > 5 mm	6%	6%	6%	13%	1%	60	50,0%	30	50,0%	30	89%	27	11,3%	3	31%	8

Die nachfolgenden Schadstoffbilanzen zeigen eine deutliche Schadstoffreduzierung durch Waschung, Pressung und Fraktionierung von Biomasse und Kunststoffen durch die Weiterentwicklung der Zellysetechnik.

### 4.3 Produkte

Die festen Produkte aus dem Verfahren werden in Inertstoffe und organische Stoffe unterschieden.

Die Inertstoffe wurden im Hinblick auf Ablagerungseigenschaften bzw. den Einsatz als Recyclingbaustoffe untersucht.

Die organischen Fraktionen wurden auf die Eigenschaften als Brennstoffe und als organischer Dünger bzw. Bodenverbesserer untersucht.

#### 4.3.1 Organikfraktionen und BioAbfV

Die zunächst nach Korngrößen getrennten Organikfraktionen wurden auf die Einhaltung der Schwermetallgrenzwerte der BioAbfV untersucht. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus mehreren Versuchen mit Bioabfall < 60 mm und Restabfall < 60 mm, jeweils nach einer Grobaufbereitung, ist in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4: Analyse Organikfraktionen - Schwermetalle**

	Einheit	BioAbfV	Restabfall < 60 mm Input	R-01	R-01	R-02	R-02	R-03	Bioabfall < 60 mm Input	B-02	B-02	B-02	B-02	B-03	B-03	B-03	B-03
Probe-Nr.			1	5	16	6	17	7	64	48	44	40	23	45	49	41	24
Blei (Pb)	mg/kg TS	150	540	70	19	67	39	120	15	<10	<10	<10	20	<10	<10	10	21
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	1,5	0,44	2,1	<0,4	<0,4	<0,4	0,4	<0,001	0,17	0,29	0,15	<0,5	0,26	0,15	0,36	<0,5
Chrom (Cr)	mg/kg TS	100	328	160	22	34	150	42	25	45	60	62	54	105	82	60	69
Kupfer (Cu)	mg/kg TS	100	162	26	140	100	40	49	19	20	20	24	23	45	27	44	33
Nickel (Ni)	mg/kg TS	50	176	80	16	18	88	24	5,1	26	35	37	18	66	49	37	41
Zink (Zn)	mg/kg TS	400	657	200	140	250	150	220	128	116	237	121	110	251	142	235	130
Quecksilber (Hg)	mg/kg TS	1	0,35	0,3	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	n.b.	0,17	0,15	0,11	0,1	0,37	<0,1	0,28	0,09
Antimon (Sb)	mg/kg TS	-	n.b.	10	<5	<5	<5	<5	n.b.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5

Eine Schadstoffanreicherung ist durch das Verfahren insbesondere bei Restabfall durchweg zu beobachten. Eine Ausnahme bildet die Fraktion Restabfall Organik 1 (R-01), die noch einen sehr hohen Kunststoffanteil aufweist und dementsprechend viele Schwermetall-Frachträger enthält.

Die erhöhten Gehalte an Chrom und Nickel in den Bioabfall-Fraktionen sind Artefakte, die aus den Versuchsbedingungen resultieren. Der Eintrag erfolgte über die Versuchsanlage, die überwiegend aus Edelstahl-(Chrom-Nickel-Stahl)Komponenten niedriger Qualität (1.4301) besteht. Durch Umbauten, Stillstandzeiten der nicht entleerten Anlage und die Verarbeitung von bereits versäuertem Material wird Chrom und Nickel aus den Komponenten gelöst und in die Produkte eingetragen.

Der oben beschriebene Effekt der thermomechanischen Zellyse ermöglichte eine Trennung der organischen Fraktionen in nativ organische und fossile Organik resp. Kunststoffe. Durch eine einfache Absiebung nach der Pressung der organischen Fraktionen können die Kunststoffe abgetrennt werden.

Die im Handversuch durch Absiebung getrennten Fraktionen wurden auf ihre Schadstoffgehalte im Hinblick auf Einhaltung der Kriterien der Bioabfallverordnung untersucht und mit Daten eines kommerziell vertriebenen Fertigkompostes aus Bioabfall untersucht. Nachfolgende Abbildung zeigt, dass

die Absiebung eine deutliche Schadstoffanreicherung bewirkt. Die Fraktionen < 5 mm sind deutlich schadstoffangereicht, siehe Abbildung 10.

Die Fraktion 2- 5 mm der Organik 2 aus Restabfall unterschreitet bei allen untersuchten Schwermetallen die Grenzwerte der Bioabfallverordnung und ebenfalls deutlich die Werte des Beispielkompostes.

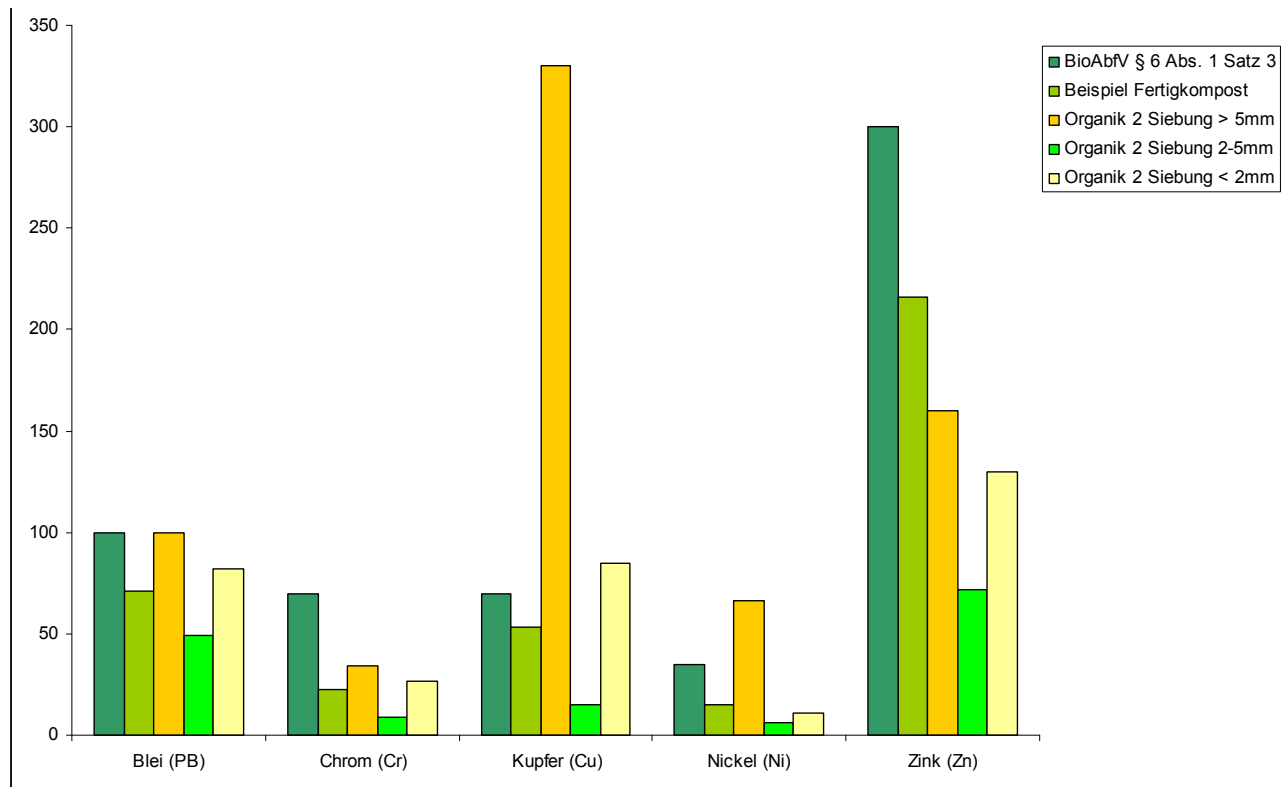


Abbildung 10: Ergebnisse aus dem Siebversuch Organik 2 aus Restabfall im Vergleich mit den Grenzwerten der BioAbfV für Schwermetalle in mg/kg TS

Die Fraktionen Restabfall Organik 3, Bioabfall Organik 2 und Bioabfall Organik 3 wurden zusätzlich im Hinblick auf ihre Komposteigenschaften analysiert.

Tabelle 5: Komposteigenschaften der organischen Fraktionen

	Beispiel Fertigkompost	Organik 3 Restabfall	Organik 2 Bioabfall	Organik 3 Bioabfall
Rohdichte g/l OS	585	375	210	570
Glas > 2mm % TS	0,07	<0,01	<0,01	<0,01
Fremdstoffe > 2 mm %TS	0,07	keine	keine	keine
Rottegrad	-	IV	V	V
Pflanzenverträgl. bei 25%	123	82	85	119
Pflanzenverträgl. bei 50%	108	78	72	109
Salzgehalt g/l	5,4	0,93	0,77	1,23
pH-Wert OS	8,15	7	7	7,1
Ammonium mg/l OS	312	79	9,5	1,6
Nitrat mg/l OS	11,5	<0,8	<0,4	<1,1
N in % TS	1,59	1,9	1,5	1,9
Kaliumoxid m/l OS	4364	160	940	1500
Phosphat mg/l	1310	240	200	300
Kaliumoxid % TS	1,59	0,181	0,614	0,771
Magnesiumoxid %TS	0,85	0,547	0,298	0,448
Phosphat% TS	0,81	0,550	0,390	0,573

Auch hier sind die Eigenschaften der organischen Feinfraktion aus Restabfall den Fraktionen aus Bioabfall sehr ähnlich.

Der Gehalt an gelösten Salzen ist im Vergleich zu Kompost geringer, dies ist verfahrensbedingt erklärbar und begründet gleichzeitig die geringen Schadstoffgehalte. Der Gehalt an langfristig zur Verfügung stehendem Stickstoff und Phosphat ist jedoch in der gleichen Größenordnung wie bei Kompost angesiedelt. Weitere wichtige Parameter wie Rottegrad und Pflanzenverträglichkeit zeigen insbesondere bei der Organik 3 aus Bioabfall, dass das Material für kompostähnliche Anwendungen z.B. als Bodenverbesserer oder Pflanzsubstrat sehr gut geeignet ist.

Der Vergleich weiterer Parameter mit dem Beispielkompost zeigt, dass das organische Material aus dem NMT-Verfahren mit Kompost vergleichbare Eigenschaften aufweist.

#### 4.3.2 Organikfraktionen Brennstoffeigenschaften

Die organischen Fraktionen aus dem Siebversuch wurden darüber hinaus auf die Einhaltung der Grenzwerte der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e. V. (BGS) untersucht. Die Inputkriterien für die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in einem Steinkohlekraftwerk wurden ebenfalls gegenübergestellt.

**Tabelle 6: Brennstoffeigenschaften der Organikfraktionen aus Restabfall, Siebversuch**

	Einheit	BGS Mittelwert	Inputkriterien Steinkohlekraftwerk Mittelwert	Restabfall Organik 2 Siebung > 5mm	Restabfall Organik 2 Siebung 2-5mm	Restabfall Organik 2 Siebung < 2mm
Nr.				20	22	21
Blei (Pb)	mg/kg TS	190	70	100	49	64
Chrom (Cr)	mg/kg TS	125	125	34	9	27
Kupfer (Cu)	mg/kg TS	350	120	330	15	85
Nickel (Ni)/	mg/kg TS	80	80	66	6	11
Zinn (Sn)	mg/kg TS	30	60	7	<5	<5
Mangan (Mn)	mg/kg TS	250	250	140	45	89
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	4	0,4	0,4	<0,4	<0,4
Quecksilber (Hg)	mg/kg TS	0,6	0,6	0,3	<0,1	0,1
Thallium (Tl)	mg/kg TS	1	1	<0,2	<0,2	<0,2
Kobalt (Co)	mg/kg TS	6	6	<5	<5	<5
Vanadium (V)	mg/kg TS	10	25	6	<5	<5
Arsen (As)	mg/kg TS	5	5	<5	<5	<5
Antimon (Sb)	mg/kg TS	25	25	6	<5	<5
Chlor	% TS	1%	1%	0,33%	0,09%	0,14%
Schwefel	% TS			0,10%	0,09%	0,18%
Heizwert Hu wf	kJ/kg			17.900	19.500	17.400

Der Chlorwert liegt bei allen drei Fraktionen deutlich unter dem Grenzwert der BGS.

Die Schwermetallgehalte liegen ebenfalls deutlich unter den Werten der BGS. Der Effekt der Abreicherung ist deutlich zu erkennen wenn zum Vergleich die Werte für Restabfall dargestellt werden (siehe Abbildung 11). Die Fraktion 2-5 mm ist in allen Fällen am wenigsten belastet.



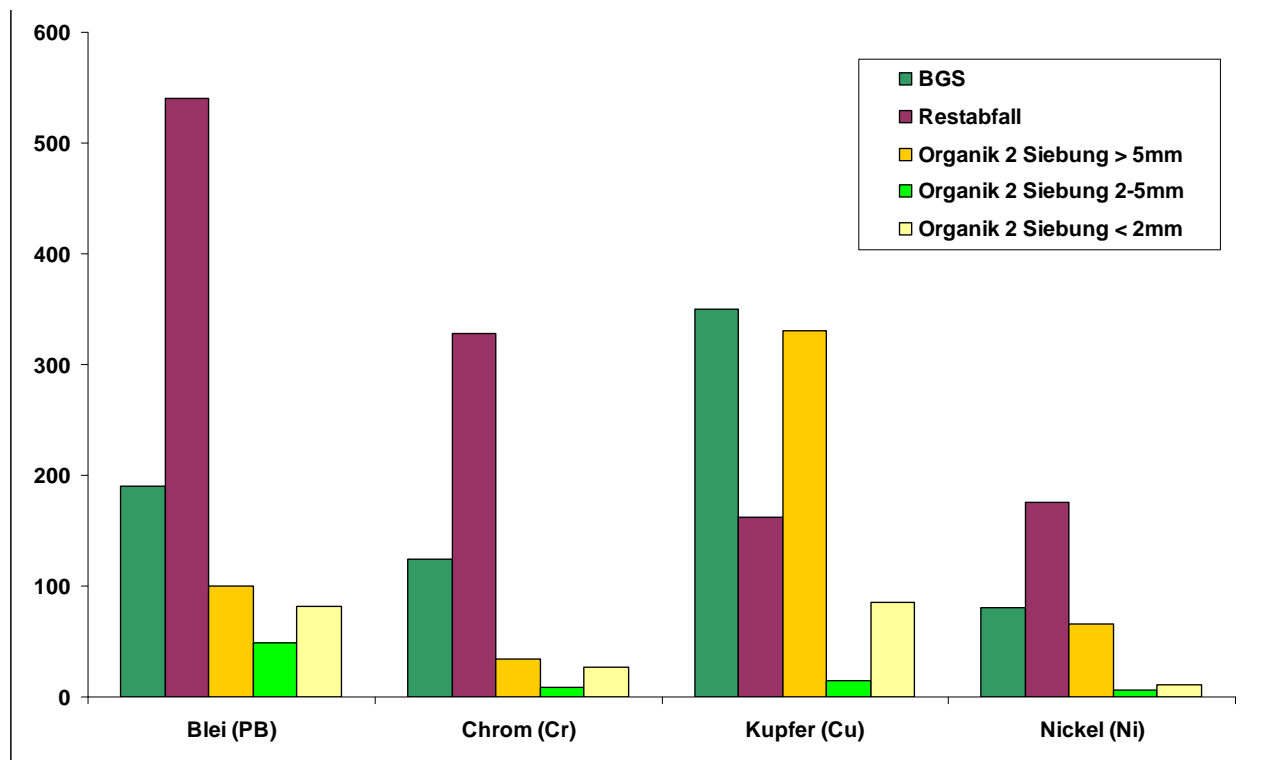


Abbildung 11: Siebversuch Restabfall Organik 2 Schermetalle in mg/kg TS im Vergleich zu den BGS-Kriterien

Weitere organische Fraktionen wurden ebenfalls auf ihre Schwermetall- und Chlorbelastung analysiert und auf die Eignung als Ersatzbrennstoff bzw. zur Mitverbrennung im Kohlekraftwerk untersucht.

Tabelle 7: Brennstoffeigenschaften der Organikfraktionen aus Restabfall, Bioabfall und Mais

	Einheit	BGS Mittelwert	Inputkriterien Steinkohle Kraftwerk Mittelwert	Organik 2 Restabfall >20 mm	Organik 2 Restabfall <20 mm	Organik 3 Restabfall	Organik 3 Pellet Bioabfall	Pellet BioFluff Mais Organik 2
Blei (Pb)	mg/kg TS	190	70	73,9	91,4	62,7	26,5	21,6
Chrom (Cr)	mg/kg TS	125	125	128,4	78,2	100,4	96,6	63
Kupfer (Cu)	mg/kg TS	350	120	249,9	68,8	85,5	31	6,9
Nickel (Ni)	mg/kg TS	80	80	78	52,2	74	67,9	32,2
Zinn (Sn)	mg/kg TS	30	60	80,8	88,8	59,5	46,8	44,4
Mangan (Mn)	mg/kg TS	250	250	205,9	189,7	219,1	218,9	34,5
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	4	0,4	5,3	1,4	0,1	0,0001	0,0001
Quecksilber (Hg)	mg/kg TS	0,6	0,6	0	0	0	0	0
Thallium (Tl)	mg/kg TS	1	1	0	0	0	0	0
Kobalt (Co)	mg/kg TS	6	6	3,2	4,1	3,2	1,9	0,8
Vanadium (V)	mg/kg TS	10	25	8,2	9,6	13,3	9,9	1,4
Arsen (As)	mg/kg TS	5	5	2,6	4	3	3	1,5
Antimon (Sb)	mg/kg TS	25	25	293	12,9	1,1	0	0
Chlor	% TS	1,00%	1%	1,45%	1,00%	0,38%	0,07%	0,11%
Schwefel	% TS			0,23%	0,29%	0,51%	0,23%	0,09%
TS-Gehalt	%			93,62%	91,75%	86,98%	85,89%	91,43%
Heizwert Hu	kJ/Kg TS		16.000	23.587	19.626	14.616	15.029	15.582

### 4.3.3 Inertfraktionen

Nachfolgende Tabelle zeigt die Analyseergebnisse der Untersuchung im Hinblick auf die LAGA Kriterien für die Inertfraktionen aus Restabfall und Bioabfall.

**Tabelle 8: Vergleich der LAGA -Kriterien mit den Inertfraktionen aus Restabfall und Bioabfall**

	Einheit	LAGA Z0	LAGA Z1.1	LAGA Z1.2	LAGA Z2	Restabfall Inert 2	Restabfall Inert 3	Bioabfall Inert 2	Bioabfall Inert 3
Nr.	% TS					29	28	27	26
Asche	% TS					89,00%	97,00%	99,00%	99,00%
TOC im Feststoff	% TS	0,5(1)	1,5	1,5	5	2,70%	1,40%	0,35%	0,41%
AOX /EOX	mg/kg TS	1	3	3	10	8	<0,5	<0,5	<0,5
Blei (Pb)	mg/kg TS	140	210	210	700	140	674	14	11
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	1	3	3	10	0,37	0,6	0,62	0,18
Chrom (Cr)	mg/kg TS	120	180	180	600	27	86	610	580
Kupfer (Cu)	mg/kg TS	80	120	120	400	140	220	27	36
Nickel (Ni)	mg/kg TS	100	150	150	500	16	36	290	450
Zink (Zn)	mg/kg TS	300	450	450	1500	290	640	47	48
Quecksilber (Hg)	mg/kg TS	1	1,5	1,5	5	0,06	0,07	0,12	0,1
Thallium (Tl)	mg/kg TS	0,7	2,1	2,1	7	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Arsen (As)	mg/kg TS	15	45	45	150	4,4	5,9	6,1	3,1
Kohlenwasserstoffe	mg/kg TS	400	600	600	2000	340	110	<20	25
BTEX	mg/kg TS	1	1	1	1	0,4	0,06	<0,05	<0,05
LHKW	mg/kg TS	1	1	1	1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
PCB	mg/kg TS	0,1	0,15	0,15	0,50	0,07	<0,01	<0,01	<0,01
PAK	mg/kg TS	3	9	9	30	0,44	0,82	0,02	0,31
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,6	0,9	0,9	3	0,04	0,09	<0,01	0,02
Blei (Pb)	mg/l Eluat	0,04	0,04	0,08	0,2	<0,002	0,028	0,003	0,006
Cadmium (Cd)	mg/l Eluat	0,0015	0,0015	0,0030	0,0060	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Chrom (Cr)	mg/l Eluat	0,0125	0,0125	0,0250	0,0600	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kupfer (Cu)	mg/l Eluat	0,02	0,02	0,06	0,1	0,021	0,024	0,010	<0,005
Nickel (Ni)	mg/l Eluat	0,015	0,015	0,020	0,070	0,01	0,011	<0,005	0,006
Zink (Zn)	mg/l Eluat	0,15	0,15	0,20	0,60	<0,025	0,029	<0,025	<0,025
Quecksilber (Hg)	mg/l Eluat	<0,0005	<0,0005	0,001	0,002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Arsen	mg/l Eluat	0,014	0,014	0,020	0,060	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Sulfat	mg/l Eluat	20	20	50	200	180	30	4	5
Chlorid	mg/l Eluat	30	30	50	100	3,5	3	1,9	1,1
Cyanid	mg/l Eluat	0,005	0,005	0,01	0,02	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Phenolindex	mg/l Eluat	0,02	0,02	0,04	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pH-Wert (Eluat)		6,5-9,5	6,5-9,5	6-12	5,5-12	7,6	7,8	8,5	8,7
Leitfähigkeit (Eluat)	mS/cm	0,25	0,25	1,5	2	0,183	0,214	0,084	0,092

Die aufbereiteten Inertfraktionen halten im Allgemeinen mindestens die Kriterien der LAGA Z 1.2 ein.

Die an sich unbelasteten Inertfraktionen aus Bioabfall enthalten deutlich höhere Anteile an Chrom und Nickel. Dies ist ein Artefakt aus der Versuchsanlage, wie in Kapitel 4.3.1 bereits beschrieben.

#### 4.4 Versuche nach Ende der Projektlaufzeit

Auch über die Aktivitäten im Rahmen des DBU Projektes hinaus wurden laufend weitere Versuche und Verfahrensoptimierungen durchgeführt. Ein Großversuch mit Massenbilanzierung und ausführlicher Analytik der Produkte wurde im Jahr 2008 auf dem Gelände der KBA Hard mit der Versuchsanlage durchgeführt. Im Anhang ist der Versuchsbericht zu diesem Versuch beigefügt.

## 5 Bewertung der Vorhabensergebnisse

### 5.1 Produktqualität

Die Projektergebnisse konnten trotz oder gerade wegen des über die Planungsansätze hinausgehenden sehr hohen zeitlichen und finanziellen Aufwands die Erwartungen weit übertreffen. Es konnte nicht nur die Trennung von Organik und Inertstoffen erfolgreich durchgeführt werden, die Organik konnte darüber hinaus in drei Organikgruppen:

- leichtabbaubare Organik zur Biogaserzeugung
- native Organik als Biomasse zur stofflichen oder energetischen Verwertung der Faserstoffe
- fossile Organik, Kunststoffe zur weiteren Wertstoffsartierung und energetischen Verwertung hocheffektiv aufgetrennt werden.

Die in der Planung vorgesehene Abscheidung von drei Inertfraktionen - Sand, Kies und Steine - konnte erfolgreich durchgeführt werden. Überraschend war der sehr hohe Inertstoffanteil  $< 100 \mu\text{m}$ , der durch einen Umbau der Anlage als neue Schluff-Fraktion Inert 4 abgeschieden werden konnte. Eine weitere Aufbereitung der Schluff-Fraktion zur Verwertung ist bei der Weiterführung der Versuche geplant.

Die Schadstoffbilanzen zeigen eine deutliche Schadstoffreduzierung durch Waschung, Pressung und Fraktionierung von Biomasse und Kunststoffen mit der Weiterentwicklung der Zellysetechnik.

Es gelingt uns im Verfahren, mit einer einfachen Schneckenpresse inertstofffreie Organikfraktionen mit einem TS-Gehalt von 60% zu erzeugen. Durch die Temperatur in Verbindung mit der Scherwirkung in den Schneckenpressen werden die Zellwände zerstört und das Zellwasser in die lösliche Fraktion überführt. Dadurch können sehr hohe Trockensubstanzgehalte realisiert werden.

Im Verfahren kann mit einer Verweilzeit von 10 min ein schadstoffreduziertes, hygienisiertes Material mit einem Rottegrad  $> \text{III}$ , meist IV bis V erzeugt werden. Restabfall weist eine biologische Stabilität nach 10 Minuten von gesichert  $\text{AT}_4 < 20 \text{ mg/kg}$ .

Neben dem Vorteil der hohen Lösung von leichtabbaubarer Organik durch die Thermo-Mechanische-Zellyse (TMZ) wird auch die native Organik quasi zerlegt auf Fasergrößen  $< 5 \text{ mm}$ . Fossile Organik lässt sich in der Korngröße nicht durch die Thermo-Mechanische-Zellyse beeinflussen. Durch eine Siebung bei ca. 5 mm nach der Pressung können die Hartkunststoffe und Kunststofffolien von der nativen Organik getrennt werden.

Eine weitgehende Entwässerung der Inertfraktion ist auch ohne Trocknung möglich. Die Inertstoffe werden im Verfahren soweit mit Kreislaufwasser und Frischwasser gereinigt, dass sie einer Verwertung zugeführt werden können.

Der Schadstoffgehalt in den Biomassefraktionen ist verfahrensbedingt gering. Chlor ist durch die Kunststoffabtrennung nicht als PVC enthalten und kann nur als Salz gelöst im Wasser vorhanden sein. Durch den hohen Entwässerungsgrad ohne thermische Trocknung werden lösliche Schadstoffe mit dem Press- und Waschwasser, je nach Waschwasseraufbereitungs- und Presskonzept, zu 50 % bis 90 % ausgetragen.

Die Schadstoffe gelangen in die Vergärung des Kreislaufwassers, werden dort in den anaeroben Schlamm eingebunden und zur Entsorgung ausgetragen.

In einem Versuch konnte nachgewiesen werden, dass über 75 % bis 85 % des Biogasertrages, der bei einer hocheffizienten Vollstromvergärung erreicht worden wäre, auch bei dem NMT-Verfahren entsteht.

Die getrocknete und gesiebte organische Fraktion (BioFluff®) wird entsprechend dem vorgesehenen Verwertungsweg konfektioniert. BioFluff® ist eine schadstoffreduzierte, trockenstabilisierte, aufgefaserter Biomasse und als Rohstoff vielseitig einsetzbar. Für eine Verwertung als Trockendünger ist eine Pelletierung, zur direkten energetischen Verwertung eine Brikettierung oder Pelletierung vorgesehen. BioFluff® kann ebenso werkstofflich weiter zu Dämmstoffen, Baustoffen oder Filterstoffen aufbereitet oder sogar zu Ethanol vergoren werden. Eine Pelletierung oder Brikettierung ist in den meisten Anwendungen aus Transportgründen wegen der geringen Dichte von BioFluff® erforderlich.

## 5.2 Verfahrensoptimierung

Die in der Planung vorgesehene Abscheidung von drei Inertfraktionen - Sand, Kies und Steine - konnte erfolgreich durchgeführt werden. Überraschend war der sehr hohe Inertstoffanteil  $< 100 \mu\text{m}$ , der durch einen Umbau der Anlage als neue Schlufffraktion Inert 4 abgeschieden werden konnte. Eine weitere Aufbereitung der Schlufffraktion zur Verwertung ist bei der Weiterführung der Versuche geplant.

Vorhergehende Erfahrungen mit Versuchsanlagen zur Inertstoffabscheidung vor Vergärungsanlagen zum Anlagenschutz bestimmten die Größe der NMT-Versuchsanlage. Diese ist sehr groß gewählt, um den Umgang mit den realen Abfallstückigkeiten und Inhomogenitäten zu erforschen. Nachteil der Anlagengröße ist jedoch neben den hohen Kosten der Versuchsanlage der unumgängliche Optimierungsaufwand wie der Austausch von Maschinen und geometrischen Anpassungen der Förder-, Mischtechnik und Behälter. Vorteilhaft war die Ausstattung der Antriebe mit Frequenzumrichtern, die eine hohe Flexibilität bei der Versuchsdurchführung ermöglichte.

Im Laufe des Versuchsbetriebs wurden folgende Anpassungsarbeiten durchgeführt:

- Rührergeometrie des Rührers im Mischbehälter – Breite, Höhe, Form
- Einbauten im Mischer und Anpassungen des Ablaufs zur Vermeidung von Verzopfungen
- Siebeinsätze Naßsiebe – Lochgröße, Siebeinsatz als gestanzte Siebe oder Maschensiebe
- Optimierung Naßsiebe – Zulauf, Reinigung, Ablauf
- Geometrie und Spülanschlüsse für die Abscheidung der Steinfraktion Inert 1
- starke Verkleinerung und geometrische Veränderungen des Behälters zur Kiesabscheidung
- Mehrfache Optimierungen der Strömungsführung zur Abscheidung und Waschung der Kiesfraktion mit Integration eines internen frequenzgeregelten Rührers im Kiesabscheidebehälter
- Mehrfache Umbaumaßnahmen an den Schneckenpressen Organik 1, 2 und 3
  - Verstärkung der Flansche und Versteifungen
  - Veränderung der Schneckengeometrie und Schneckenwelle
  - Austausch der Getriebemotoren, Axiallagerverstärkung und Drehzahlerhöhung
  - Mehrfacher Austausch der Siebkörbe und Optimierung der Entwässerung
  - Anpassungen zur Zugänglichkeit für Reinigungsmaßnahmen
  - Einbau von Führungsschienen und Umbau der Bürsten
  - Umlegung der Presswasserleitungen und Veränderung Presswasserabführung
  - Installation von separaten Presswasserbehälter je Presse
- Installation eines  $6 \text{ m}^3$  Schlammfangbehälters mit Belüftungseinrichtung für die Kompletentleerung der Anlage zur Verbesserung der Versuchsbilanzierung und zur Erleichterung der Reinigung der Versuchsanlage
- Mehrfache Anpassung der Automatisierung und Nachrüstung von digitalen und binären Ein- und Ausgängen, sowie Installation einer größeren SPS-CPU
- Installation eines Dampferzeugers, wodurch eine Temperatureinstellung und somit eine Verbesserung der Trennergebnisse erzielt werden konnte

Planung und Inbetriebnahme der Versuchsanlage erfolgte termingerecht, die Anpassungs- und Optimierungsarbeiten haben jedoch einen unerwartet hohen Zeitaufwand bedeutet, so dass das Projekt zwar mit 2 Jahren Projektlaufzeit geplant wurde, letztlich jedoch fast 4 Jahre benötigt wurden.

Da die Optimierungen sukzessive mit dem Erkenntnisgewinn aus den Versuchen erfolgten, nahm der Probetrieb ca. 2 Jahre von 2004 – 2006 in Anspruch. Dies entspricht auch der Probetriebszeit der Inertstoffabscheidung von kommerziellen Restabfallvergärungsanlagen im Zeitraum 2004 – 2007 im Bundesdurchschnitt.

Auf Grundlage langjähriger Erfahrungen mit der Inertstoffabscheidung vor Nassvergärungsverfahren, der Abstimmung des verfahrenstechnischen Aufbaus mit einer Vielzahl von nationalen und internationalen Experten und einer sehr intensiven Planung der Versuchsanlage über 3 Jahre schon im Rahmen der Antragstellung, ergeben sich folgende positive und negative Abweichungen von den verfahrenstechnischen Erwartungen:

### **5.2.1 Negative Abweichungen:**

1. Eine Naßsiebung mit Maschensieben bei Lochgrößen 3 – 4 mm führt zu Verstopfungen, da sich die Fasern in den Maschenkreuzen verhaken und einen stabilen Teppich auf dem Sieb bilden
2. Die Lochsieveinsätze in Schneckenpressen sind bei hohem Faseranteil sehr ineffektiv
3. Die Reinigung der Kiesfraktion ist erheblich schwieriger strömungstechnisch zu beherrschen als geplant, schwere Organik wie z.B. Kirsch-, Aprikosenkerne oder Hartkunststoffpellets sind im Sinkverhalten sehr ähnlich wie poröse Steine,
4. Schaumbildung war gerade bei älterem Inputmaterial und einer bereits angelegenen Wasservorlage so erheblich, dass der Betrieb stark erschwert wurde.
5. Verschleppung von Chrom und Nickel in die Outputfraktionen: Für die Versuchsanlage wurde Edelstahl als Werkstoff gewählt, um bei der nicht kontinuierlich betriebenen Anlage und den hohen Frachten an organischer Säure in den Abfällen Korrosionen zu vermeiden. Durch Umbauarbeiten und Abrieb wurden Edelstahlfeinpartikel in den Abfall eingetragen und die Analysewerte bzgl. Chrom und Nickel im Verhältnis der Legierung des verbauten Edelstahls 1.4301 verfälscht.

#### Gegenmaßnahmen und Resultat:

- zu 1: Als erste Gegenmaßnahme wurde der Einlauf zum Sieb optimiert, dann Einbauten im Sieb zur Produktführung installiert, als letzte Maßnahme wurde ein Siebbelag mit gestanzten Löchern mit einer Lochgröße von 10 mm statt 3 – 4 mm eingesetzt → sehr gutes Resultat
- zu 2: Die Lochsieve wurden komplett durch Spaltsiebkörbe ersetzt → sehr gutes Resultat
- zu 3: Erst nach umfangreichen Optimierungsmaßnahmen konnte eine verwertbare und nach Abfallablagerungsverordnung deponierfähige Inertfraktion mit < 5 % Glühverlust und < 3% TOC erzeugt werden. Das aktuelle Resultat erlaubt zwar eine Verwertung im Straßenbau nach LAGA Z1.2 oder Z2, steht jedoch noch hinter den Erwartungen zurück. Nach weiteren Laborversuchen wurde ermittelt, dass nach einer Siebung bei 2 mm, Rückführung der Sandfraktion < 2 mm zur internen Sandaufbereitung sowie einer Absiebung > 10 mm zur Rückführung von organischen Verschmutzungen und mittels nachträglicher Aufstromklassierung der Mittelfraktion eine uneingeschränkte Verwertung der Kiesfraktion als Baustoff möglich ist.
- zu 4: Zur Lagerung des Waschwassers wurde ein belüfteter Schlammfang installiert, mit dem das gelöste CO<sub>2</sub> ausgetrieben und eine Aerobisierung erreicht wurde. Weiter wurden die Entlüftungsleitungen zur Verbesserung des Schaumabzuges vergrößert und eine mechanische Schaumzerstörung installiert. Im Austragsbereich der Steine – Inert 1- wurde die Austragsrutsche mit einem Spaltsieb zur Schaumrückführung versehen. Die Schäumung ist nicht in allen Betriebszuständen zu vermeiden, es müssen daher die o.g. Vorkehrungen getroffen werden.



Zu 5: Gegenmaßnahmen sind bei einer Versuchsanlage nicht möglich, bei einer kontinuierlich betriebenen Anlage sind die Massendurchsätze höher und Änderungsarbeiten geringer. Wo möglich sollte Normalstahl mit entsprechenden Korrosionsschutzzuschlägen in Bereichen mit erwarteten Abrasionen durch das Produkt verwendet werden.

### 5.2.2 Positive Abweichungen:

6. Hohe Qualität der abgeschiedenen Steine (Inert 1) und des Sandes (Inert 3) schon vor den Optimierungsmaßnahmen
7. Trenneigenschaften des Schneckensiebes < 30 mm sind sehr gut, da Biomasse vorrangig in den Siebdurchgang gedrückt wird und Hartkunststoffe und Folien im Siebüberlauf angereichert werden. Lediglich Holz und Langfasern werden an Biomasse als Siebüberlauf ausgetragen. Die Ansprache des Materials Organik 1 wirkt beim Einsatz von Restabfall wie eine gewaschene Kunststofffraktion.
8. Entwässerungsgrade der organischen Fraktionen waren mit bis zu 75% Trockensubstanzgehalt unerwartet hoch. Durch die Waschung und Fraktionierung der Organikfraktionen war die Kompaktierfähigkeit des Materials so hoch, dass es sich soweit im Presskonus der Schneckenpressen verpresste und auffaserte, dass es mit Hammer und Meißel aus dem Konus ausgeschlagen werden musste. Die Schneckenpressen wurden jedoch mehrfach durch die hohe Verpressung zerstört und mussten in einer wesentlich verstärkteren Konstruktion neu aufgebaut werden, ebenso wurden die Getriebemotoren gewechselt. Die Entdeckung dieses Phänomens führte zu einer anschließenden Grundlagenforschung und Praxiserforschung bei EcoEnergy mit unterschiedlichen Biomassen im Anschluß an das Förderprojekt.
9. Hohe Reinheit der Biomassefraktion < 10 mm (Organik 3). Optisch sind auch bei Restabfall keine Verschmutzungen mit Kunststoff erkennbar. Ursache dafür ist die Vermeidung von Zerkleinerungseffekten im Gesamtsystem, auch von dem Mischbehälter geht keine Zerkleinerungswirkung aus. Die Fraktion < 10 mm entspricht, selbst bei Restabfall als Ausgangsmaterial, den Kriterien der Bioabfallverordnung mit einem Rottegrad > III, meist IV bis V, ohne weitere Kompostierung, Siebung oder Hygienisierung. Dies wird alleine mit der Abtrennung der leichtabbaubaren Organik durch Waschung, Naßsiebung und Pressung erreicht. Bei Bioabfall kann diese Fraktion die hohen Ansprüche an Substratkomposte oder Torfersatzprodukte erfüllen.
10. Kompost in 5 – 10 Minuten: Unglaublich! Dies war die größte Überraschung der Versuche, die abgepressten Fraktionen Organik 2 und Organik 3 hatten einen Rottegrad  $\geq 3$ , also besser als nach einer 20tägigen Vergärung und können ohne weitere biologische Behandlung - bzgl. Rottegrad und Pflanzenverträglichkeit - als Qualitätskompost eingesetzt werden.
11. Hygienisierung in 5 – 10 Minuten: Eine temperaturgeführte Abpressung im Zusammenhang mit der Waschung, Fraktionierung und Abpressung bewirkt eine Hygienisierung der abgepressten Biomassen Organik 2 und Organik 3. Dies wurde parallel auch von einem Hersteller von Extruderpressen nachgewiesen.
12. Trennung von nativer und fossiler Biomasse – Durch den Unterschied der hohen Auffaserung von Biomasse im Vergleich zur geringen Auffaserung von Kunststoffen in den Schneckenpressen für die Organik 2 (Naßsiebfraktion 10 – 30 mm), konnten durch einfache Siebung bei 5 mm von Bioabfall 95% dieser Fraktion als Feinkompost gewonnen werden, die Fraktion > 5 mm enthält vorrangig Hartkunststoffe und Kunststofffolien.
13. Biogasertag aus der Waschflüssigkeit beträgt 75% - 85% des vergleichbaren Biogasertages aus einer hocheffektiven Vollstromvergärungsanlage, da je nach anaerob biologischer Abbaubarkeit 40% bis über 60% der organischen Trockensubstanz in eine Fraktion < 100  $\mu\text{m}$  überführt werden konnte, die zu 85% bis über 90% biologisch abbaubar ist. Zur Prüfung der unerwarteten Ergebnisse wurden Parallelversuche mit Maissilage und Grassilage durchgeführt und mit den Literaturdaten verglichen und bestätigten die Ergebnisse.
14. Restabfalltrocknung durch Fraktionierung und mechanische Entwässerung: Durch die hohen Überführungsgrade von gelöster Organik in das Presswasser und die hohen Entwässerungs-



- grade der organischen Fraktionen erfolgt eine Trocknung der organischen Fraktion ohne Zuführung thermischer Energie
15. Größe der Schadstoffreduktion durch Fraktionierung, Waschung und mechanische Entwässerung: Durch hohe Überführung von gelöster Organik in die Flüssigphase und die hohen Entwässerungsgrade werden ebenfalls gelöste Schadstoffe, Salze und Mineralien in die Flüssigphase überführt und die verbleibende Biomasse gereinigt. Die Schadstoffbelastung der gereinigten Biomasse aus Restabfall hält die Schadstoffgrenzwerte zur Kompostanwendung entsprechend Bioabfallverordnung (BioAbfV) ein. Nach einer Trocknung und Pelletierung ist die Biomassefraktion aus Restabfall sogar zur Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerken geeignet, aufgrund der geringen Aschegehalte, der hohen Schmelztemperatur der Asche und der niedrigen Restchlorgehalte von  $< 0,4\%$  vom TS sowie aufgrund der geringen Schwermetallbelastung. Es konnte somit der Gleichwertigkeitsnachweis von Biomasse aus Restabfall im Vergleich zu anderen nach Biomasseverordnung anerkannten Biomassen geführt werden. Biomasse aus Restabfall, die mit dem NMT-Verfahren erzeugt wurde, verdient die Anerkennung als Biomasse nach der Biomasseverordnung und sollte zukünftig einen Anspruch auf Förderung nach dem ErneuerbareEnergienGesetz haben.
  16. Eindickbarkeit des Waschwassers: Durch die Kombination aus niedrigem pH-Wert des Abfalls, einer Temperaturführung von  $> 70^{\circ}\text{C}$  und der Gegenwart von Proteinen erfolgt eine Hitzedenaturierung der Proteine. Durch die Denaturierung erfolgt eine Umlagerung der Proteinstruktur von einer Quatärstruktur in eine Tertiärstruktur in Verbindung mit dem Aufbrechen von Wasserstoffbrückenbindungen. Die denaturierten Proteine werden somit zu anionischen Flockungshilfsmitteln und eine Eindickung des Waschwassers wird ermöglicht. Durch z.B. eine Zentrifuge könnte ein eingedickter Primär-Klärschlamm erzeugt werden und in vorhandenen Kläranlagen zur Energieerzeugung mitvergoren werden. Mit den 2007 in einem Arbeitsentwurf der novellierten Klärschlammverordnung vorgelegten neuen Grenzwerten, vor allem für organische Schadstoffe, ist die landwirtschaftlich Verwertung nur noch in Ausnahmefällen für sehr schadstoffarme Klärschlämme möglich. Praktisch bedeutet die neue Entwicklung, dass Klärschlamm nur noch energetisch verwertet werden darf. Die Nährstoffe wie Phosphate und u.U. auch Stickstofffrachten sollen zukünftig aus dem Klärschlamm separiert werden. Dies würde dann auch für die aus dem Restabfall herausgelösten Nährstoffe gelten. Die Schadstoffe aus dem Abwasser würden somit gemeinsam mit den Schadstoffen aus dem Klärschlamm in Rauchgasreinigungsanlagen konzentriert werden und die Restorganik aus dem Klärschlamm würde energetisch verwertet werden.
  17. Abscheidung einer 4. Inertstofffraktion als Schlufffraktion: Neben der Sandfraktion  $100\ \mu\text{m} - 2\ \text{mm}$  konnte durch Verfahrensumstellung eine Schlufffraktion  $< 100\ \mu\text{m}$  abgeschieden werden. Eine Verfahrensoptimierung zur Verbesserung der Verwertungsqualität dieser Fraktion steht noch aus. Erste Analysen zeigen eine Verwertbarkeit dieser Fraktion bereits auf.

Es überwiegen trotz der zeit- und kostenintensiven Prozessoptimierung und Versuchsdurchführung die positiven Ergebnisse und Erkenntnisse, die die Erwartungen weit übertreffen.

Eine Durchsetzung der Prozessphilosophie der nunmehr in der Praxis erprobten nassmechanischen Trennung wird die Abfallwirtschaft grundlegend verändern.

EcoEnergy wird die Forschungsarbeiten an der Versuchsanlage weiterführen.

### 5.3 Ökologische und ökonomische Bilanzierung des Verfahrens in Abgrenzung zu den Verfahren nach dem Stand der Technik

Stand der Technik sind MBA –Anlagen für die Restabfallbehandlung mit Biogaserzeugung und Ablagerung des Rottematerials auf Deponien entsprechend Ablagerungsverordnung und sowie Kompostierungs- und Vergärungsanlagen für Bioabfall.

**Tabelle 9: Restabfall MBA-Anlagen mit vollstromvergärung im Vergleich zum NMT-Verfahren**

Beispielanlage: 100.000 t/a Restabfall < 60 mm	Einheit	MBA mit Vollstromvergärung			NMT-Prozess EcoEnergy		
		Wert	spez.	T€/a	Wert	spez.	T€/a
Investition	Mio. €	40	0,1	4.000	20	0,1	2.000
Personal	Anzahl	25	40.000	1.000	12	40.000	480
Wartung	%	3,5%		1.400	3,5%		700
Betriebsmittel		pauschal		1.400	pauschal		500
Abwasser	m³/a	23.000	50 €/m³	1.150	35.000	5 €/m³	175
Entsorgung Deponie	t/a	42.000	35 €/t	1.470	-	35 €/t	-
Verwertung EBS	t/a	6.000	100 €/t	600	6.000	100 €/t	600
Entsorgung Gärrest	t/a	-	150 €/t	-	1.000	150 €/t	150
Verwertung Inertstoffe	t/a	-	35 €/t	-	31.500	35 €/t	1.102,5
Verwertung Biomassepellets	t/a	-	-20 €/t	-	8.500	-20 €/t	-170
Erlöse Biogas	m³/a	10.000.000	-5,5 ct/m³	-550	7.500.000	-5,5 ct/m³	-412,5
<b>SUMME</b>		<b>105</b>	<b>€/t</b>	<b>10.470</b>	<b>51</b>	<b>€/t</b>	<b>5.125</b>

Der Berechnung liegt eine konkrete, in Betrieb befindliche MBA-Anlage zugrunde, deren Daten veröffentlicht wurden (MBA Hannover). Die Werte für das NMT-Verfahren liegen einer Anlagenprojektierung zugrunde, die für ein Entsorgungsunternehmen erstellt wurde.

Das NMT-Verfahren ist herkömmlichen MBA Verfahren mit nur der Hälfte der Gesamtkosten ökonomisch weit überlegen.

Ökologisch und nach der Novellierung der EU-Abfallrahmenrichtlinie ist eine Maximierung der stofflichen und energetischen Verwertung gefordert, bei gleichzeitiger Ressourcenschonung und Reduzierung der zu versiegelnden Flächen. Eine herkömmliche MBA benötigt neben der Deponiefläche zusätzlich 40.000 m² bezogen auf die in diesem Beispiel angesetzte Durchsatzleistung von 100.000 t/a Restabfall < 60 mm. Eine Anlage nach dem NMT-Verfahren würde demgegenüber mit 4.000 m² inkl. Logistikflächen nur 1/10 der Fläche benötigen.

Die Abluftemissionen einer herkömmlichen MBA betragen pro Tonne Abfall 5.000 – 10.000 m³ belastete Abluft aus der biologischen Behandlung, die über erdgasbetriebene energieintensive RTO-Anlagen behandelt werden muss. Beim NMT-Verfahren wird keine biologische Behandlung von Feststoffen durchgeführt, lediglich eine anaerobe und aerobe Abwasserreinigung, wobei die Abluftströme so gering sind, dass diese in der Biogasverwertung als Zuluft verwendet werden können. Die Trocknung wird in einem weitgehend geschlossenen Kreislauf mit Brüdenkondensation durchgeführt, wodurch ebenfalls nur geringe Restbrüdenmengen entstehen, die ebenfalls als geringste Mengen in der Biogasverwertung verwendet werden können.

Daneben findet eine fast 100%ige Verwertung der Stoffströme statt, mit Ausnahme von 1% Gärrest als Schadstoffseneke.

Eine maximale Energierückgewinnung und Energiegewinnung wird durch Vergärung der leichtabbaubaren organischen Fraktion erreicht. Die Abwärme aus der Biogasverstromung wird teilweise zur Trocknung sowohl der Biomassefraktion als auch der Grobfraktion zur Konditionierung für eine

stoffliche Verwertung entsprechend dem von EcoEnergy entwickelten Niedertemperatur-Tunneltrockner verwendet. Es wird nach der Verstromung und Wärmenutzung für eine Gesamtanlage sogar noch ein Wärmeüberschuss als Heiz- oder Prozesswärme erzeugt. Ebenfalls können nach Abzug des elektrischen Eigenbedarfs 50% der mit dem Biogas produzierten elektrischen Energie eingespeist werden.

## 6 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das Verfahren wurde erstmals auf Wunsch der DBU in einem Expertenforum vor ausgewähltem Fachpublikum im September 2006 mit Auslaufen des Förderprojektes vorgestellt und diskutiert.

Seit Ende des Förderprojektes ist EcoEnergy verstärkt auf Messen und Tagungen präsent und vertreibt das NMT-Verfahren intensiv. Im Anschluss an das Forschungsprojekt werden bereits für Vattenfall und Kommunen Versuche zur Anlagenauslegung und Erweiterung des NMT-Verfahrens zur Energieerzeugung und Produktentwicklung aus nachwachsenden Rohstoffen durchgeführt und konkrete Anlagen geplant.

Der Betriebsbeginn einer ersten großtechnischen Abfallbehandlungsanlage, der KBA Hard in Schaffhausen, Schweiz ist für Ende 2010 geplant.

### 6.1 Veröffentlichungen

#### **Bewertung der Systemkosten für den Einsatz von Kunststoffen unter Einbeziehung der Kosten für Entsorgung**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu; Dipl.-Ing. Jens Niestroj; Dipl.-Biol. Kirsten Schu

In: Tagungsband 3. Internationale Tagung MBA und Sortieranlagen, 12.-14.05.2009, Hannover

#### **Erneuerung der KBA Hard mit dem SCHUBIO®-Verfahren**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu; Dipl.-Biol. Kirsten Schu

In: Tagungsband 3. Internationale Tagung MBA und Sortieranlagen, 12.-14.05.2009, Hannover

#### **Aufbereitung von Abfällen aus dem Deponierückbau - Darstellung anhand des SCHUBIO®-Verfahrens**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu; Dipl.-Biol. Kirsten Schu

Fachveranstaltung "Deponierückbau" im Rahmen der TERRATEC, 28.01.2009, Leipzig

#### **Chlor lässt Kosten explodieren**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu

In: RECYCLING magazin, 2008, München

#### **Veredlung von Mineralstoffen aus Abfall – Darstellung anhand des NMT-Verfahrens**

Dipl.-Biol. Kirsten Schu

In: Recycling und Rohstoffe, 2008, Neuruppin

#### **Waschen – Trocknen – Separieren statt Deponieren – sauberer Abfall ist Wertstoff**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu; Dipl.-Biol. Kirsten Schu

DepoTech 2008 – Abfall- und Deponietechnik, Altlasten, Abfallwirtschaft, 12.-14.11.2008, Leoben (Österreich)

#### **MBT Concepts for a sustainable Waste Management**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu; Dipl.-Biol. Kirsten Schu

Venice 2008 – Second international Symposium on Energy from Biomass and Waste, 17.-20.10.2008, Venedig (Italien)

**Anaerobic Digestion of Waste: Problems with Contraries and innovative Solutions**

Dipl.-Biol. Kirsten Schu

Venice 2008 – Second international Symposium on Energy from Biomass and Waste, 17.-20.10.2008, Venedig (Italien)

**Low Temperature Drying as Key Technology for Waste Recycling**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu

Venice 2008 – Second international Symposium on Energy from Biomass and Waste, 17.-20.10.2008, Venedig (Italien)

**Waste to Energy – Higher Efficiency with external Superheating**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu; Prof. Reinhard Leithner

Venice 2008 – Second international Symposium on Energy from Biomass and Waste, 17.-20.10.2008, Venedig (Italien)

**Chlor – unterschätzte Kostenexplosion in der EBS-Verbrennung**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu; Dipl.-Ing. Jens Niestroj

69. Symposium des ANS E.V. „Energie aus Abfall – Biomasse- und Ersatzbrennstoffverwertung“, 16.-17.09.2008, Göttingen

**Niedertemperatur-Tunnelrockner zur optimierten Wertstoffgewinnung**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu

In: Tagungsband 3. Abfallforschungstage, 04.-05.06.2008, Hannover

**Chlor – unterschätzte Kostenexplosion in der EBS-Verbrennung**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu

VDI-Seminar „Ersatzbrennstoffe für Industrieanlagen“, 28.-29.04.2008, Berlin

**MBT for a Sustainable Development - Vision 2020**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu; Dipl.-Biol. Kirsten Schu

In: Tagungsband Codis 2008, 27.-29.02.2008, Solothurn (Schweiz)

**Waste Fermentation and Sand - no Problem?**

Dipl.-Biol. Kirsten Schu; Dipl.-Ing. Reinhard Schu

In: Tagungsband Codis 2008, 27.-29.02.2008, Solothurn (Schweiz)

**Herkunft und Qualität ausschlaggebend - Anlagenauslegung, Brennstoffbeschaffung und Qualitätssicherung für Abfallverbrennungsanlagen müssen sorgfältig geplant werden**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu, Dipl.-Ing. Jens Niestroj

In: MüllMagazin, 2007, Berlin

**Niedertemperatur-Tunnelrockner zur optimierten Wertstoffgewinnung**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu; Dipl.-Biol. Kirsten Schu

In: Energie aus Abfall, 2007, Berlin

**Sand im Getriebe der Vergärung?**

Dipl.-Biol. Kirsten Schu

In: Energie aus Abfall, 2007, Berlin

### **Sand im Getriebe der Vergärung?**

Dipl.-Biol. Kirsten Schu

In: Tagungsband Abfallkolloquium 2007 – Neue Impulse für eine moderne Wirtschaft, 23.-24.10.2007, Freiberg

### **Zukunftsfähige MBA-Konzepte – Vision 2020**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu

In: Tagungsband Abfallkolloquium 2007 – Neue Impulse für eine moderne Wirtschaft, 23.-24.10.2007, Freiberg

### **Sand im Getriebe der Vergärung? / Waste Fermentation and Sand - no Problem?**

Dipl.-Biol. Kirsten Schu; Dipl.-Ing. Reinhard Schu

In: Tagungsband 2. Internationale Tagung MBA, 22.-24.05.2007, Hannover

### **Zukunftsfähige MBA-Konzepte – Vision 2020**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu

In: Tagungsband 2. Internationale Tagung MBA, 22.-24.05.2007, Hannover

### **Zukunftsfähige MBA-Konzepte - Vision 2020**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu

In: Energie aus Abfall, 2006, Neuruppin

### **NMT Prozess – Verfahren zur nassmechanischen Trennung von Abfällen**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu

NMT Expertenforum, 07.09.2006, Walkenried

Postersession NMT-Verfahren an der Universität Dresden, November 2005

## **7 Fazit**

Das NMT-Verfahren wurde nach den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit entwickelt und stellt sich in dieser positiven Form auch im Vergleich zur konventionellen Bioabfallvergärung oder zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe dar. Das NMT-Verfahren ist herkömmlichen MBA Verfahren mit nur der Hälfte der Gesamtkosten und einer über 95%igen Verwertungsquote weit überlegen.

Kompostierungsverfahren mit hohen Abluftvolumenströmen, hohem Energieverbrauch, ungenutzten CO<sub>2</sub>-Emissionen und nicht zuletzt der fehlenden Möglichkeit zur Schadstoffentfrachtung sind nicht mehr Stand der Technik. Ökologisch und nach der Novellierung der EU-Abfallrahmenrichtlinie ist eine Maximierung der stofflichen und energetischen Verwertung gefordert, bei gleichzeitiger Ressourcenschonung, Schadstoffentfrachtung und Reduzierung der zu versiegelnden Flächen.

Eine Anlage nach dem NMT-Verfahren benötigt nur 1/10 der Fläche einer herkömmlichen MBA mit Vergärungsverfahren mit anschließender Rotte oder Bioabfallkompostierungsanlagen bzw. Vergärungsverfahren mit anschließender Nachrotte. Die Abluftemissionen einer herkömmlichen MBA betragen pro Tonne Abfall 5.000 – 10.000 m<sup>3</sup> belastete Abluft aus der biologischen Behandlung, die über erdgasbetriebene, energieintensive RTO-Anlagen behandelt werden muss.

Beim NMT-Verfahren wird keine biologische Behandlung von Feststoffen durchgeführt, lediglich eine anaerobe und aerobe Abwasserreinigung, wobei die Abluftströme aus der aeroben Abwasserreinigung so gering sind, dass diese in der Biogasverwertung als Zuluft verwendet werden können.

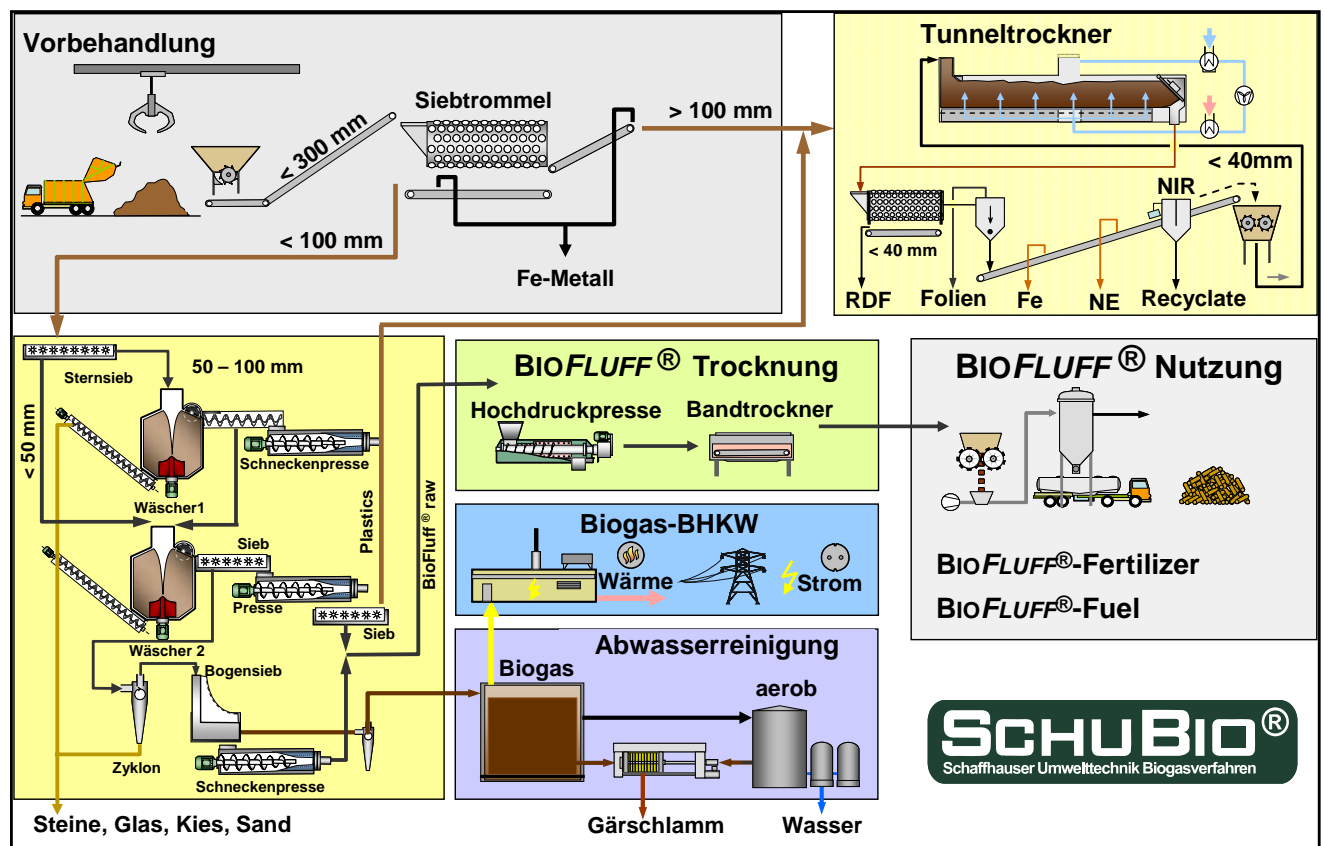
Die Trocknung wird in einem weitgehend geschlossenen Kreislauf mit Brüdenkondensation durchgeführt, wodurch ebenfalls nur geringe Restbrüdenmengen entstehen, die ebenfalls in der Biogasverwertung verwendet werden können. Es findet eine fast vollständige Verwertung der Stoffströme statt, mit Ausnahme von 1% Gärrest als Schadstoffseneke.



Eine maximale Energierückgewinnung und Energiegewinnung wird durch Vergärung der leichtabbaubaren organischen Fraktion erreicht. Die Abwärme aus der Biogasverstromung wird teilweise zur Trocknung sowohl der Biomassefraktion als auch der Grobfraktion zur Konditionierung für eine stoffliche Verwertung entsprechend dem von EcoEnergy entwickelten Niedertemperatur-Tunnelrockner verwendet.

Es wird nach der Verstromung und Wärmenutzung für eine Gesamtanlage sogar noch ein Wärmeüberschuss als Heiz- oder Prozesswärme erzeugt. Ebenfalls können nach Abzug des elektrischen Eigenbedarfs 50% der mit dem Biogas produzierten elektrischen Energie eingespeist werden. Mit dem NMT-Verfahren liegt die Biogasausbeute nur 15% - 25% unter dem Biogasertrag einer hocheffizienten Vollstromvergärungsanlage, wobei die Probleme mit Feststoffen umgangen werden und vor der biologische Behandlung saubere Faserstoffe abgeschieden werden, die als Holzpellet-Ersatz in Steinkohlekraftwerken mit sehr hohen Qualitätsansprüchen sogar mit Produktzuzahlungen vermarktet werden können. Der energetische Wirkungsgrad des Verfahrens ist höher als bei konventionellen Vergärungsverfahren. Dies drückt sich auch in dem höheren Methangehalt des Biogases aus, da nur biologisch leichtabbaubare Organik in den Gärbehälter gelangt.

Das NMT-Verfahren ist Teil eines abfallwirtschaftlichen Gesamtkonzeptes, wie in nachfolgender Abbildung dargestellt.



EcoEnergy Gesellschaft für Energie- und Umwelttechnik mbH

Walkenried, 30.05.2009

Dipl.-Ing. Reinhard  
Projektleitung

Dipl.-Biol. Kirsten Schu  
Bearbeitung