

# Zukunftsfähige MBA-Konzepte – Vision 2020



Dipl.-Ing. Reinhard Schu,  
EcoEnergy Gesellschaft für  
Energie- und Umwelttechnik mbH  
Walkenried

**Veröffentlicht in : Energie aus Abfall 1**  
November 2006,  
Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. habil. Karl J. Thomé-Kozmiensky;  
Prof. Dr.-Ing. Michael Beckmann  
TK Verlag, Neuruppin

## INHALTSVERZEICHNIS

KAP. 0 EINLEITUNG .....	4
KAP. 1 STELLUNG DER ABFALL-VORBEHANDLUNG IN DER ABFALLWIRTSCHAFT.....	4
1.1 ENTWICKLUNG DER MBA-TECHNOLOGIE .....	4
1.2 ABFALLWIRTSCHAFT BIS MITTE 2005 .....	5
1.3 RÜCKBLICK .....	8
KAP. 2 MODULE EINES ZUKUNFTSFÄHIGEN MBA-KONZEPTEs .....	10
2.1 VORAUSSETZUNGEN .....	10
2.2 MODUL 1: GROBAUFBEREITUNG.....	10
2.3 MODUL 2: VERWERTUNG DER HEIZWERTREICHEN GROBFRAKTION.....	11
2.4 MODUL 3: NASSMECHANISCHE TRENNUNG DER FEINFRAKTION .....	14
2.5 MODUL 4: ABWASSERREINIGUNG.....	15
2.6 MODUL 5: BIOFLUFF TROCKNUNG .....	15
2.7 MODUL 6: BIOFLUFF KONFEKTIONIERUNG .....	15
2.7.1 BIOFLUFF-PELLETS ALS TROCKENDÜNGER.....	15
2.7.2 DIREKTE ENERGETISCHE VERWERTUNG .....	15
2.7.3 UMWANDLUNG IN EDELBRENNSTOFFE (ETHANOL, METHAN) DURCH VERGÄRUNG ....	15
2.7.4 VERWENDUNG VON BIOFLUFF ALS FASERWERTSTOFF .....	15
2.8 GESAMTDARSTELLUNG DER MODULE.....	15
KAP. 3 ANBAU NACHWACHSENDER ROHSTOFFE.....	15
3.1 ANBAU NACHWACHSENDER ROHSTOFFE – WARUM? .....	15
3.2 ANBAU NACHWACHSENDER ROHSTOFFE – WO? .....	15
3.3 ANBAU NACHWACHSENDER ROHSTOFFE – WIE?.....	15
3.4 ANBAU NACHWACHSENDER ROHSTOFFE DIENT DEM KLIMASCHUTZ .....	15
3.5 ANBAU NACHWACHSENDER ROHSTOFFE KANN SOZIALVERTRÄGLICH SEIN .....	15
3.6 BIOSOLARZELLE VERSUS FOTOVOLTAIK .....	15
KAP. 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	15
LITERATURVERZEICHNIS .....	15

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Bild 1: Einfache mechanische Vorbehandlung vor der Deponie bis 2005.....	6
Bild 2: MBA bis 2005 – Ausgangsbasis für den Gleichwertigkeitsnachweis .....	7
Bild 3: MBA 2005 bis 2020 – Konsequenzen der Artikelverordnung.....	8
Bild 4: Darstellung Tunneltrockner .....	12
Bild 5: Verfahrensfliessbild Tunneltrockner mit Aufbereitung .....	13
Bild 6: Darstellung des Tunneltrockners mit Aufbereitung .....	14
Bild 7: Verfahrensschema des NMT-Verfahrens.....	15
Bild 8: Einfluss des Wassergehaltes auf die Siebgüte [15] .....	15
Bild 9: Draufsicht auf das NMT-Verfahren mit Benennung der Produkte.....	15
Bild 10: NMT Demonstrationsanlage Abfallwirtschaftszentrum Wiefels und Technikum EcoEnergy .....	15
Bild 11: Produkte des NMT-Prozesses .....	15
Bild 12: Anaerobe Hochleistungsverfahren zur Abwasserbehandlung, [6], [2] .....	15
Bild 13: Gesamtverfahrensdarstellung .....	15
Bild 14: Stoff- und Mengenbilanz des Gesamtverfahrens .....	15
Bild 15: mittlere Sonneneinstrahlung [23].....	15

## Kap. 0 Einleitung

In diesem Beitrag wird untersucht, welche zukunftsfähigen Vorbehandlungsverfahren neben einer direkten thermischen Verwertung von Abfällen bestehen.

Eine Abfallvorbehandlungsanlage ist nicht nur eine Anlage, sondern Ausdruck eines Abfallwirtschaftskonzeptes. Ein zukunftsfähiges Abfallwirtschaftskonzept muss den Bedingungen der Nachhaltigkeit genügen. Hinter dem Begriff Nachhaltigkeit steht die Vorstellung, dass die gegenwärtige Generation ihren Bedarf befriedigen soll, ohne künftige Generationen in ihrer Bedarfsbefriedigung zu beeinträchtigen, wobei sich ökonomische, ökologische und soziale Entwicklungen im Einklang befinden müssen.

Die ökologischen Forderungen der Nachhaltigkeit an ein Abfallwirtschaftskonzept sind nach Einbeziehung aller Abfallvermeidungsmöglichkeiten:

- Wiederverwertung - stofflich oder energetisch
- Ressourcenschonung - Energie, Wasser, Rohstoffe
- Flächenschonung - Deponie, Rotteflächen, Anlagentechnik etc.
- Emissionsvermeidung - Abwasser, Abluft etc.

Diese Forderungen drücken sich für den Bereich der Abfallwirtschaft beispielhaft aus in:

- Agenda 21, Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung, Rio 1992
- EG-Richtlinien
- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
- Artikelverordnung, 17. BImSchV, TA-Siedlungsabfall

Für die Abfallwirtschaft konkretisierte sich der Gedanke der Nachhaltigkeit in der Vision 2020 [11]. Spätestens ab 2020 soll ein vollständiges Schließen der Stoffkreisläufe bei möglichst hochwertiger Verwertung der Sekundärprodukte erfolgen, so dass Deponien entbehrlich werden. Eine Ausschleusung von Schadstoffen wird jedoch auch nach 2020 Realität bleiben, eine 100%ige Verwertung gibt es vorerst technisch nicht.

In den folgenden Kapiteln wird die Entwicklung der Abfallwirtschaft in Deutschland und die Konkretisierung einer zukunftsfähigen MBA-Technologie in Form eines modularen Systems sowohl für Deutschland als auch international aufgezeigt

## Kap. 1 Stellung der Abfall-Vorbehandlung in der Abfallwirtschaft

### 1.1 Entwicklung der MBA-Technologie

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 (BrennstoffAus-Müll) 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. Die Schadstoffgehalte und hier besonders die Schwermetallgehalte (Hg, Pb, Cd etc.) waren jedoch für eine langfristige landwirtschaftliche Nutzung zur Herstellung von Nahrungsmitteln zu hoch.

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 Metalle 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 von 1983 – 1986 [1] 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 damaligen Umweltministers 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 [20]) mit getrennter Erfassung der biogenen Anteile des Abfalls und der Festlegung von Qualitätskriterien für die erzeugten Bioabfallkomposte (LAGA M10 [21], Bioabfallverordnung [34]). 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 langfristige Akkumulation von Schadstoffen in den Böden wurden bei der Grenzwertfindung nicht berücksichtigt. Erst im Positionspapier des Umweltbundesamtes „Gleiches zu Gleichem“ [31] wurde im Jahr 2002 der Nachhaltigkeitsgedanke auch auf die Bioabfallkomposte angewendet, aber noch nicht in einen rechtlichen Rahmen überführt.

Mit der getrennten Wertstoff- und Bioabfallfassung 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.

## **1.2 Abfallwirtschaft bis Mitte 2005**

Mit der technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi [10]) 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 Verwertung – sofern schadlos und zumutbar – bleibt davon unberührt und wurde in dem im Jahr 1994 verabschiedeten Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz [20] festgeschrieben.

Während die TASi bezüglich der Restabfallbehandlung langfristig auf das Zieljahr 2005 angelegt war, griffen die Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes hinsichtlich des Vorranges der Verwertung und Reduzierung der zu deponierenden Abfälle sofort, d. h. nach

dessen In-Kraft-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 Metallabscheidung eine heizwertreiche Fraktion zur energetischen Verwertung bzw. thermischen Nutzung und Metalle zur stofflichen Verwertung abgetrennt werden. **Bild 1** zeigt dieses einfache Vorbehandlungskonzept vor der Deponie:

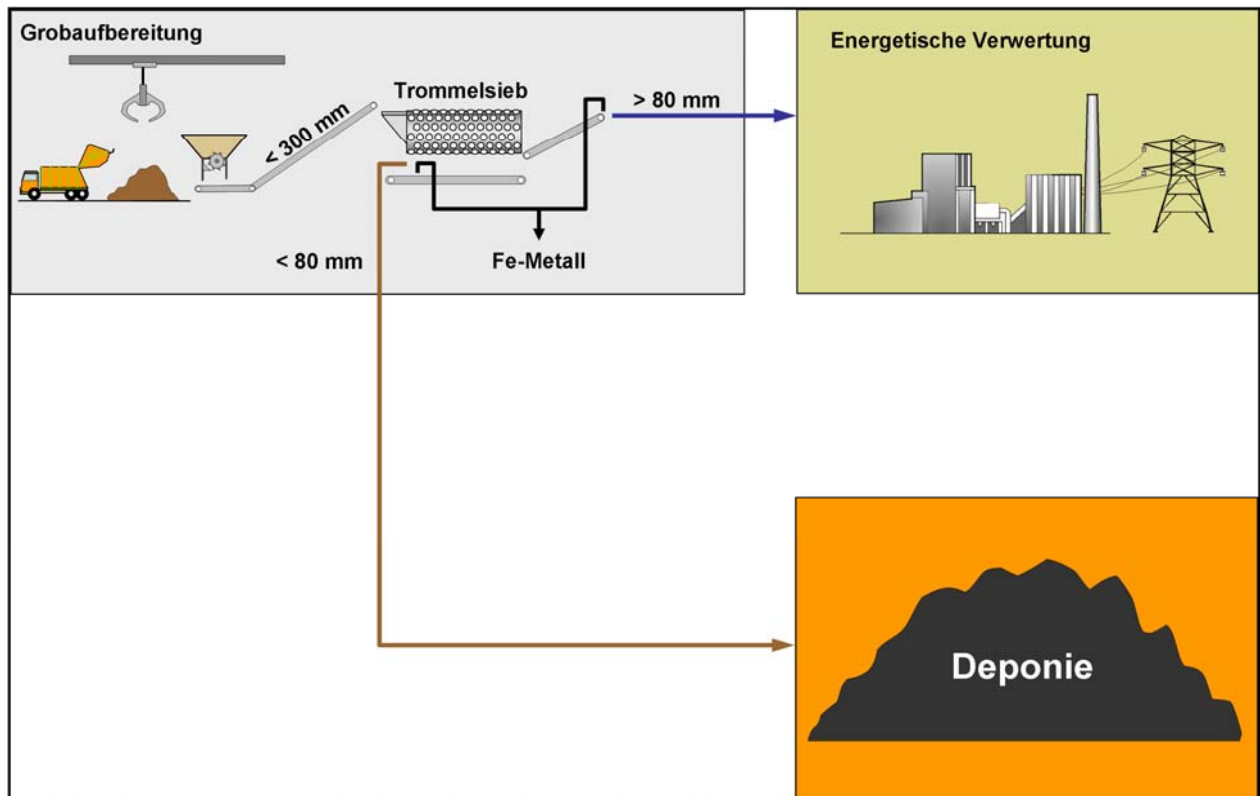


Bild 1: Einfache mechanische Vorbehandlung vor der Deponie bis 2005

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 [30]. Diese Gleichwertigkeitsnachweise betrafen sowohl die Abluft, als auch die Eigenschaften des abzulagernden Deponates und des Abwassers. **Bild 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).

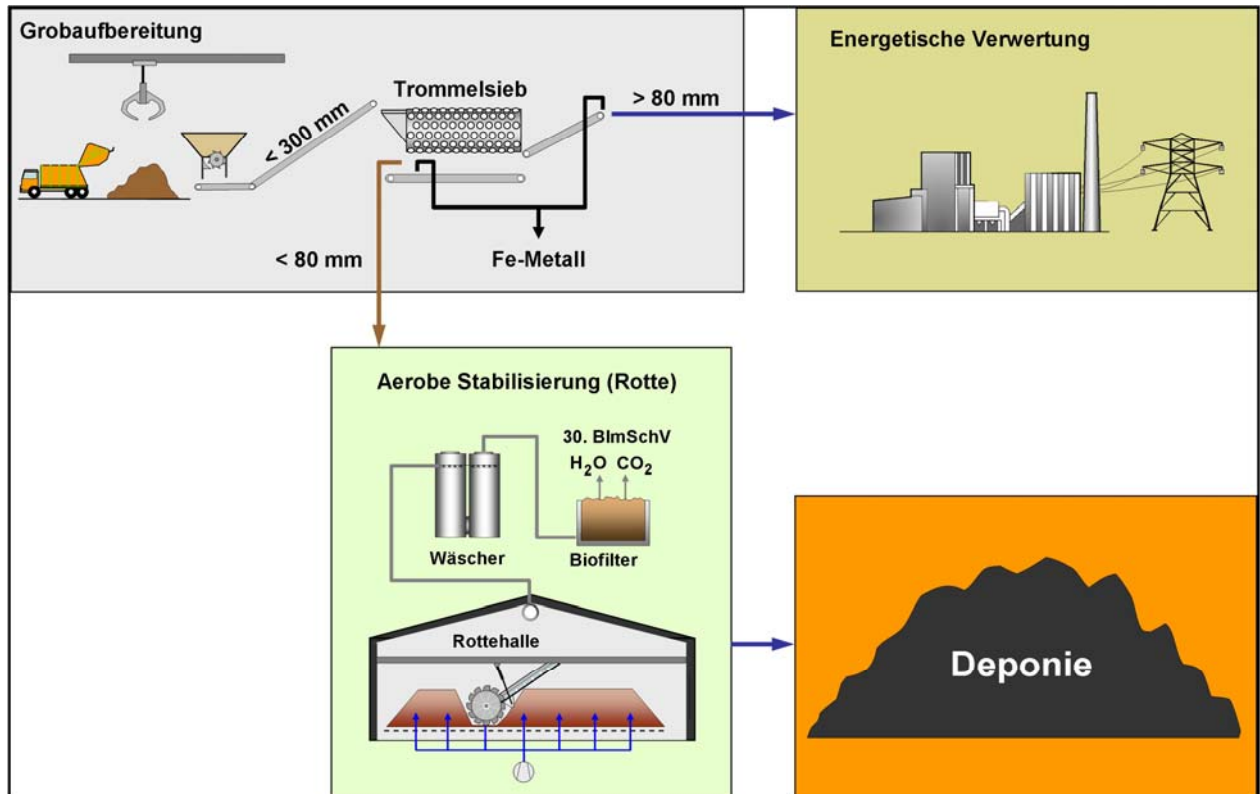


Bild 2: MBA bis 2005 – Ausgangsbasis für den Gleichwertigkeitsnachweis

Die Modifikation der Methode zur Erreichung der Ziele der TAsi unter Berücksichtigung der Gleichwertigkeitsnachweise mündete im Jahr 2001 in der Artikelverordnung (ArtikelV) [33]. Bei der Festlegung der Grenzwerte für die abzulagernde Fraktion in Artikel 1 (Abfallablagerungsverordnung) orientierte sich der Gesetzgeber an den abzulagernden Reststoffen thermisch behandelte Abfälle. So wurden Grenzwerte für Atmungsaktivität AT<sub>4</sub>, Gasbildungsrate GB<sub>21</sub> 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  $5.500\text{ m}^3$  pro Tonne Siedlungsabfall ausgegangen war [8]. 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 **Bild 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.



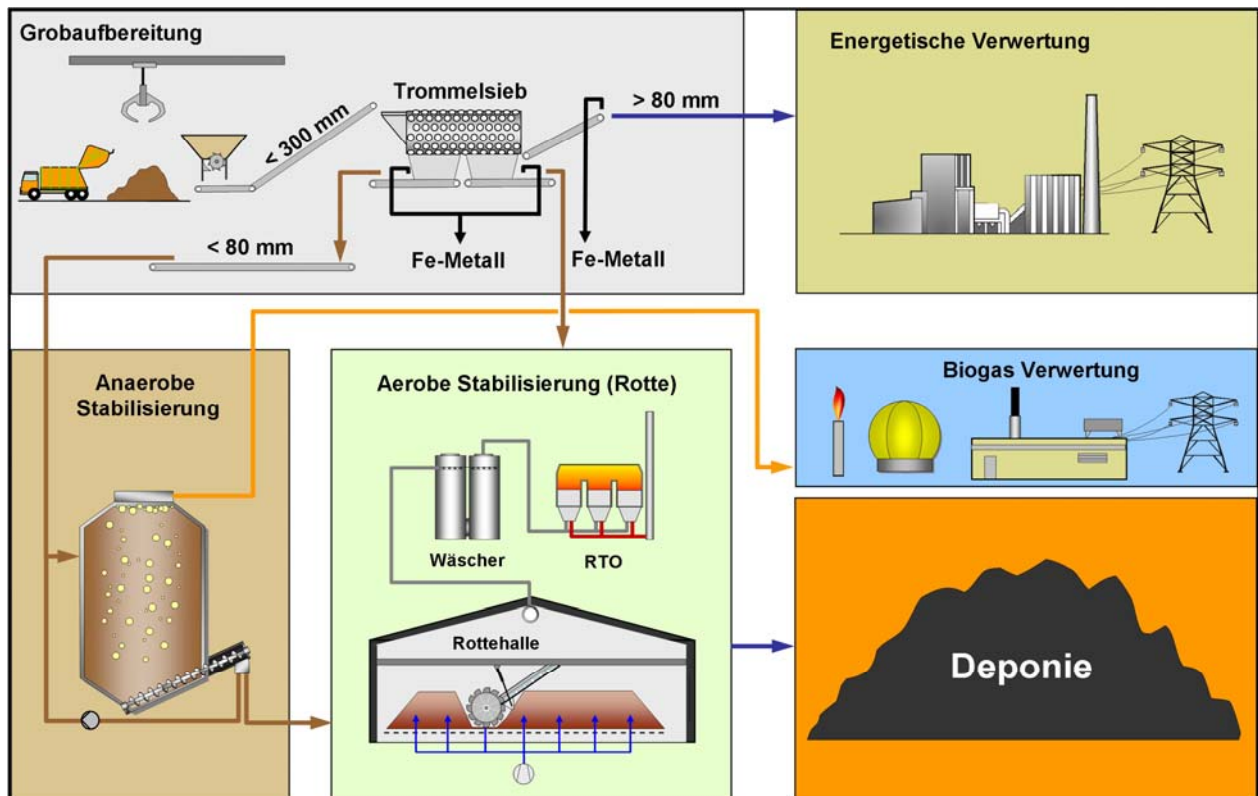


Bild 3: MBA 2005 bis 2020 – Konsequenzen der Artikelverordnung

Die Artikelverordnung ermöglicht die MBA-Technologie, jedoch sind die Anforderungen sehr hoch. Bestehende MBA-Anlagen mussten nachgerüstet bzw. komplett umgebaut werden. Die Anforderungen der Artikelverordnung wurden aktuell Mitte 2006 im Zuge der notwendigen Anpassung der Deponieverordnung [32] an europäisches Recht [12] besonders bezüglich des Parameters TOC im Eluat weniger scharf gefasst [35].

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 Vision 2020 für eine nachhaltige und zukunftsfähige Abfallwirtschaft, da immer noch wesentliche Bestandteile des Abfalls ungenutzt abgelagert bzw. mit niedrigen Wirkungsgraden thermisch behandelt werden.

### 1.3 Rückblick

Die ursprüngliche Motivation für die MBA-Technik war höchst modern, die getroffenen Ansätze wurden jedoch durch den fortschreitenden Nachhaltigkeitsgedanken im Bereich der Abfallwirtschaft neu bewertet und führten zur Vision 2020. Dies zeigen folgende Erkenntnisse, die in den letzten Jahren gewonnen wurden:

#### a. Hausmüllkompost ist nicht nachhaltig

Aus gemischtem Abfall (Hausmüll) kann auf Grund der zu hohen Schadstoffbelastung kein landwirtschaftlich verwertbarer Kompost für die Lebensmittelherstellung erzeugt werden.



**b. Kompost aus getrennt erfasstem Bioabfall ist nachhaltig. Wirklich?**

Die Schadstoffbelastung in Komposten aus getrennt erfasstem Bioabfall ist teilweise so hoch, dass die Grenzwerte der Bioabfallverordnung überschritten werden [24] [6], [5]. Damit ist eine nachhaltige Kompostverwertung nur schwer möglich. Nach dem Positionspapier des UBA „Gleiches zu Gleichem“ [31] wird eine Kompostierung eines Großteils der getrennt erfassten Bioabfälle nicht mehr sinnvoll, da die Bioabfallkomposte den neuen Anforderungen nicht entsprechen würden.

**c. Vollzug der Abfallablagerungsverordnung**

Die Anforderungen der TASI (bzw. der Artikelverordnung) wurden tatsächlich ab 01.06.2005 vollzogen. Die Kosten für den Bau und Betrieb einer MBA sind über das allgemein erwartete Maß hinaus gestiegen.

**d. schlechte Qualität der erzeugten Ersatzbrennstoffe**

Die heizwertreiche Fraktion aus Siedlungsabfällen hat sich entgegen vieler Prognosen nicht als energetischer Wertstoff, sondern weiterhin als Abfall zur energetischen Verwertung erwiesen. Wie in den 80er Jahren mit dem BRAM-Konzept ist es nicht gelungen, mittels mechanischer Verfahren aus gemischtem Abfall einen schadstoffarmen Brennstoff entsprechend den Spezifikationen effizienter industrieller Kraft- und Wärmeerzeugungsanlagen herzustellen.

**e. kein Einsatz von Ersatzbrennstoffen in modernen Kohlekraftwerken**

Die erzeugten Ersatzbrennstoffe werden heute nur in alten Kraftwerken mit niedrigen Dampfparametern und entsprechend niedrigen Nettowirkungsgraden mitverbrannt. Entsprechend höher sind die Brennstoffkosten sowie – zukünftig bedeutend – die CO<sub>2</sub>-Abgaben des Grundlastbrennstoffes. Bei energieeffizienten Kraftwerken dagegen verbietet sich der Einsatz auch geringer Ersatzbrennstoffmengen aufgrund der möglichen Betriebsstörungen.

Bei Einsatz von Ersatzbrennstoffen aus gemischten Siedlungsabfällen in Kraftwerken ergeben sich zudem neue Fragestellungen der Verwertung der Reststoffe aus dem Kraftwerksprozess.

**f. Verwertung in Zementwerken von der Baukonjunktur abhängig**

Eine Verwertung der Ersatzbrennstoffe in Zementwerken ist wegen der sehr hohen Abhängigkeit von der Baukonjunktur erschwert. Die Nachfrage nach Zement ist immer noch rückläufig. In der Zementindustrie werden vorzugsweise sehr heizwertreiche und gut dosierbare Abfälle wie Altreifen, Altöl, Lackschlamm und spezielle produktionsspezifische Abfälle eingesetzt. Ersatzbrennstoffe aus MBA werden nur dann eingesetzt, wenn besser geeignete Ersatzbrennstoffe nicht oder nicht zu wirtschaftlichen Bedingungen verfügbar sind.

**g. unvollständiger Gleichwertigkeitsnachweis**

Der Gleichwertigkeitsnachweis zwischen MBA und MVA ist unvollständig und berücksichtigt lediglich das Ablagerungsverhalten der behandelten Abfälle sowie nicht vollständig die Emissionen während der Behandlung. Nicht berücksichtigt wurden weitere Aspekte wie

- Energieeffizienz, besonders bezüglich der abzulagernden Feinfraktion und des Energieaufwandes für die MBA inkl. der Abluftbehandlung (RTO) mit den Maßstäben der BVT-Beurteilung
- Wertstoffeigenschaften der abzulagernden Abfälle - Verwertungsvorrang
- Flächenbedarf der Anlagentechnik
- Gesamtwirtschaftlichkeit inkl. der Kosten für die energetische Verwertung bei Schadstoffreduktionspotential analog MVA

**Zusammenfassung:**

Der Ansatz einer Stoffstromteilung mit dem Ziel einer nachhaltigen Abfallwirtschaft ist richtig. Gescheitert ist dagegen das Konzept einer MBA als Vorbehandlungsanlage vor einer Deponie,

da weder dem Nachhaltigkeitsgedanken Genüge getan wird noch ein langfristig wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Einige MBA haben zudem Schwierigkeiten, die aktuellen gesetzlichen Anforderungen vollständig zu erfüllen [9], [3]. Eine klassische MBA steht der Forderung entgegen, dass sich die Abfallwirtschaft zunehmend als Rohstoffproduzent für hochwertige Sekundärprodukte versteht („urban mining“) [16].

## **Kap. 2 Module eines zukunftsfähigen MBA-Konzeptes**

### **2.1 Voraussetzungen**

Wie aber kann eine nachhaltige Abfallwirtschaft in Einklang mit der Agenda 21 für eine nachhaltige Entwicklung umgesetzt werden?

Abfallbestandteile (Wasser, Steine/Sand, Glas, PPK, Kunststoffe, Organik etc.) sollten möglichst sortenrein und ohne Schad- und Störstoffanhaftungen als Wertstoffe separiert werden. Dies kann besonders bei den trockenen Wertstoffen Glas und PPK am effektivsten durch eine getrennte Erfassung und Verwertung erfolgen. Weiter ist zur Schadstoffentfrachtung eine getrennte Erfassung von Sonderabfällen, E-Schrott etc. sinnvoll. Bei gering belasteten Vielstoffgemischen (Hausmüll, Bioabfall) dagegen ist eine mechanische Stoffstromtrennung und –aufbereitung sinnvoller.

Nachfolgend wird ein Konzept zur Behandlung von Vielstoffgemischen erläutert, das den oben genannten, hohen Anforderungen an eine nachhaltige Abfallwirtschaft entspricht.

Es besteht aus den Modulen:

- Modul 1: Grobaufbereitung
- Modul 2: Verwertung der heizwertreichen Grobfraction
- Modul 3: nassmechanische Trennung der Feinfraction
- Modul 4: Abwasserreinigung
- Modul 5: BioFluff Trocknung
- Modul 6: BioFluff Konfektionierung

### **2.2 Modul 1: Grobaufbereitung**

Der erste Schritt einer hochwertigen Aufbereitung von Abfall ist dessen selektive Zerkleinerung mit anschließender Klassierung in eine heizwertreiche, weitgehend trockene Grobfraction sowie in eine heizwertarme, weitgehend nasse, organik- und inertstoffhaltige Feinfraction.

Der Abfall wird grob vorzerkleinert. Inertmaterial und grobe Organik werden auf Korngrößen < 80 mm zerkleinert, verformbare Kunststoffe, Folien etc. dagegen kaum (selektive Zerkleinerung). Dies führt bei Abstimmung der Siebtechnik (Siebloch, Siebdurchmesser, Einbauten) mit der Wahl des Zerkleinerers dazu, dass in der Feinfraction < 80 mm 90 % bis 95 % der Organik und Inertien enthalten sind, während die kaum zerkleinerten Kunststoffe und PPK in der Grobfraction angereichert werden.

Ein Siebschnitt von < 80 mm ist technisch bewährt. Eine Siebung wesentlich gröber als 80 mm wird die weitergehende Aufbereitung der Feinfraction erschweren.

Bei einem Siebschnitt von 80 mm muss die Feinaufbereitung eine Korngröße von bis zu 150 mm verarbeiten können. Dennoch sollte vor der Feingutaufbereitung auf eine Nachzerkleinerung verzichtet werden, um die Verschleppung von Schadstoffen zu verhindern und die Trennbarkeit der Abfallbestandteile zu verbessern.

### **2.3 Modul 2: Verwertung der heizwertreichen Grobfraction**

Die Grobfraction > 80 mm kann direkt ohne weitere Aufbereitung in einer Ersatzbrennstoffverwertungsanlage (Rostfeuerung) energetisch genutzt werden. Dies ist bei einer Nutzung in energetisch hocheffizienten Anlagen mit Kraft-Wärmekoppelung sinnvoll.

Ist eine direkte, effiziente energetische Verwertung nicht möglich, bietet sich eine weitgehende Aufbereitung der Grobfraction mit dem Ziel der Gewinnung (stofflich) verwertbarer Fraktionen an. Eine Trocknung des Materials verbessert die Qualität der Aufbereitung und damit die Verwertungsmöglichkeiten. Das Ziel einer Trocknung ist daher nicht die Anhebung des Heizwertes, sondern die Ermöglichung einer effizienten Stoffstromtrennung. Die Trocknung der Grobfraction ist technisch relativ unproblematisch, da die Feuchtigkeit vor allem aus Oberflächenwasser und nur wenig Kapillar- und Zellwasser besteht. Eine technische Herausforderung ist durch die Stückgröße bis 300 mm gegeben.

Zur Trocknung von Hausmüll und/oder der heizwertreichen Fraktion kommen heute Intensivtrockner mit kurzen Verweilzeiten und hohen Temperaturen zum Einsatz. Die Intensivtrockner bedingen einen hohen Aufbereitungsgrad für die zu trocknende Grobfraction. Trommeltrockner werden meist mit dem Edelbrennstoff Erdgas beheizt. Die Abluft wird mittels Wäscher, Gewebefilter und RTO gereinigt. Das Material sollte für Trommeltrockner auf < 40 mm zerkleinert werden, eine anschließende Wertstofftrennung ist durch die damit verbundene Homogenisierung kaum möglich. Auf Grund der hohen Temperaturen ist eine erhöhte Brandgefahr und negative Veränderung der Materialeigenschaften verwertbarer Kunststoffe gegeben. Alle vorgenannten Aspekte führen dazu, dass Intensivtrockner für eine nachhaltige Aufbereitung der Grobfraction aus MBA ungeeignet sind.

An einen nachhaltigen Trockner müssen daher folgende Anforderungen gestellt werden:

- Ein breites Kornspektrum bis 300 mm muss verarbeitet werden können, ohne dass das Material vor der Trocknung zerkleinert werden muss.
- Die Trocknungstemperatur sollte aus Gründen des Brandschutzes weniger als 100 °C betragen. Niedrige Trocknungstemperaturen verhindern auch Materialveränderungen bei Kunststoffen, so dass diese stofflich verwertet werden können.
- Als Trocknungsenergie sollte Niedertemperaturwärme verwendet werden, z. B. aus Kraftwerken oder BHKW.
- Der Trockner ist im Umluftbetrieb zu fahren, so dass die Abluftmengen minimiert werden und eine aufwändige Abluftreinigung vermieden werden kann.

#### **Trocknungskonzept Grobfraction**

Bei dem Trocknungsprinzip handelt es sich um einen an den Abfall adaptierten Bandtrockner im Umluftbetrieb, als Band wird ein Pendelbodensystem eingesetzt.

Die bei der selektiven Zerkleinerung und Klassierung erzeugte heizwertreiche und kunststofffreie Grobfraction (80 bis 300 mm) sowie der Rücklauf aus der Konfektionierung und die im NMT-Prozess (siehe Kapitel 2.4) aufbereitete Kunststofffraktion gelangt in einen Trockner, der als ge-

schlossener, kontinuierlicher Niedertemperaturtunnelrockner mit Pendelbodensystem ausgeführt ist. **Bild 4** zeigt einen Schnitt durch den beschriebenen Tunnelrockner.

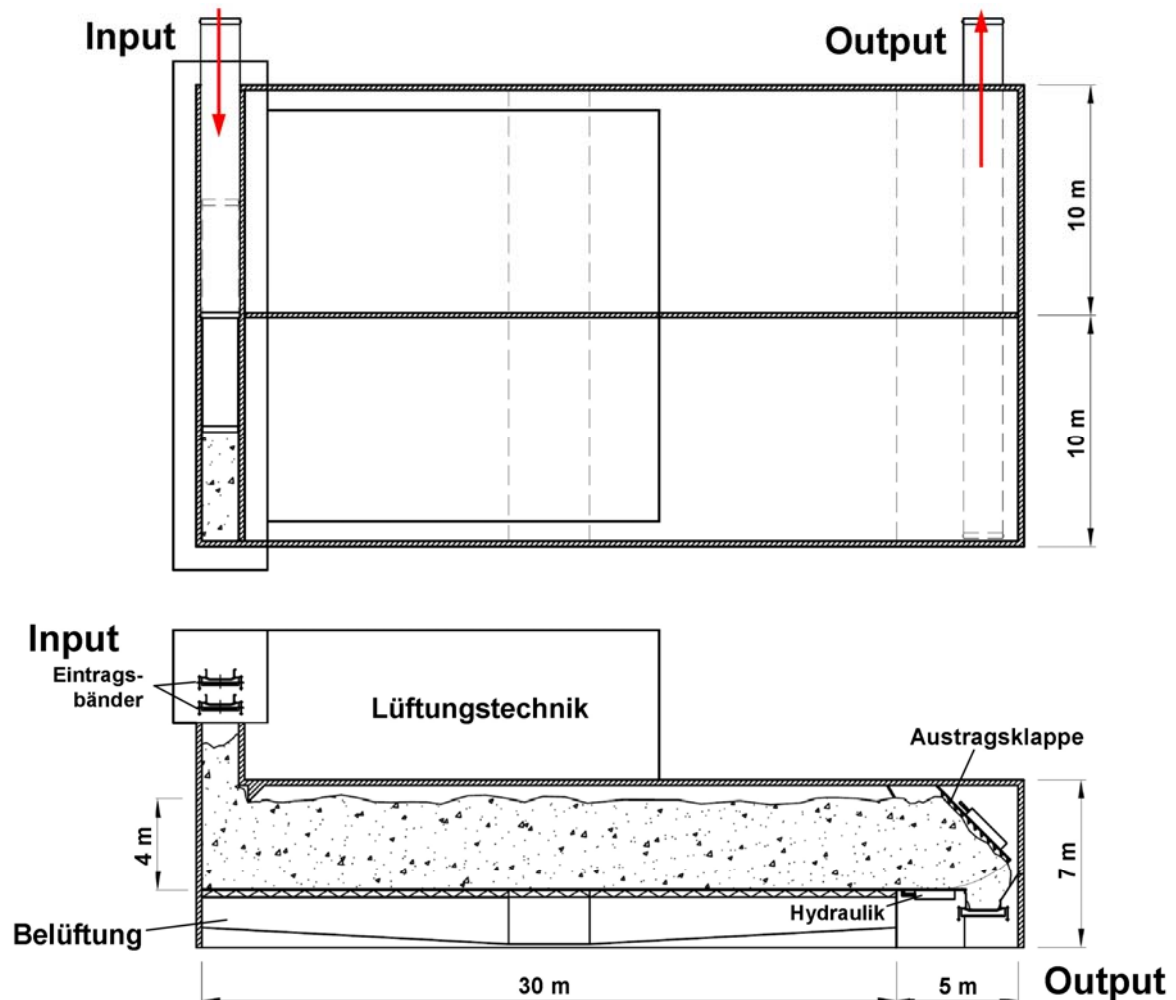


Bild 4: Darstellung Tunnelrockner

Die Zuführung in dem Tunnel erfolgt mit einem Schachtzufuhrsystem, wobei das Trockengut gleichzeitig eine Abdichtung gegenüber dem Zuführsystem darstellt. In dem Trockner sollen Systemverweilzeiten von mindestens 8 Stunden gewählt werden. Die Schütthöhe im Tunnelrockner sollte zur optimalen Wasserdampfsättigung der Umluft möglichst hoch gewählt werden und beträgt ca. 4 - 5 m.

Als Trocknungsluft wird fast ausschließlich Umluft verwendet, die im Kreislauf zur Kondensation gekühlt und wieder aufgeheizt wird. Die Aufheizung der abgekühlten Umluft wird vorrangig bis zu einem Temperaturniveau von ca. 85 °C durchgeführt, um zu hohe Temperaturen im Trocknungsgut und damit Brandgefährdungen zu vermeiden. Zudem kann durch das niedrige Temperaturniveau preiswerte Abwärme verwendet werden, beispielsweise von BHKW oder Niedertemperaturwärme aus Kraftwerksprozessen. Der Tunnelrockner erfüllt somit die Anforderungen, die an einen Trockner als Vorbehandlungsschritt vor einer weitgehenden Stoffstromtrennung der Grobfraktion aus Haus- und Gewerbeabfall gestellt wurden.

### **Aufbereitung der Grobfraktion nach der Trocknung**

Niedertemperaturtrocknung ist Voraussetzung für eine hochwertige stoffliche Verwertung der Großfraktion. Die stoffliche Verwertung wurde durch die Weiterentwicklung der Positivsortierung mit vollautomatisierten optischen Erkennungssystemen sowohl quantitativ als auch qualitativ optimiert.

Die Aufbereitung beginnt mit einer Windsichtung mit vorgeschalteter Siebung bei 40 mm. Die Windsichtung arbeitet bei trockenen Abfällen deutlich trennschärfer als bei nassen Abfällen. Mit der Windsichtung werden vor allem flächige Bestandteile wie Folien und PPK abgetrennt. Die Flugfraktion ist trockenstabilisiert und kann entweder energetisch oder nach einer weiteren Aufbereitung stofflich verwertet werden.

Die der Windsichtung vorgeschaltete Siebung dient der Abtrennung des Feingutes, da dieses die Sauberkeit der Flugfraktion verschlechtern würde. Das Feingut ist trockenstabilisiert und für eine energetische Verwertung geeignet.

Aus dem Schwergut werden Fe- und NE-Metalle abgeschieden. Die staubfreie und trockene Schwerfraktion von 40 – 300 mm ist ideal aufbereitet für die weitere optischen Sortierung (Nah-Infrarot, Röntgen). Hier werden alle optisch erfassbaren Wertstoffe (PE, PP, PS, PET, PVC, Holz, Aluminiumverbunde etc.) abgetrennt. Verwertbare Produktfraktionen werden in einem Schritt ausgeschleust. Die weitere Aufbereitung der Wertfraktionen erfolgt effektiv in einer separaten Anlage. Die verbleibende, nicht erkannte Schwerfraktion wird auf < 40 mm zerkleinert und wieder dem Trocknungsprozess zugeführt, um eine Durchtrocknung von Grobstoffen zu ermöglichen.

**Bild 5** und **Bild 6** zeigen die skizzierte Aufbereitung der Grobfraktion mit dem vorgeschalteten Tunneltrockner in einem Verfahrensschema sowie in einer Aufstellungsplanung.



## Tunneltrockner

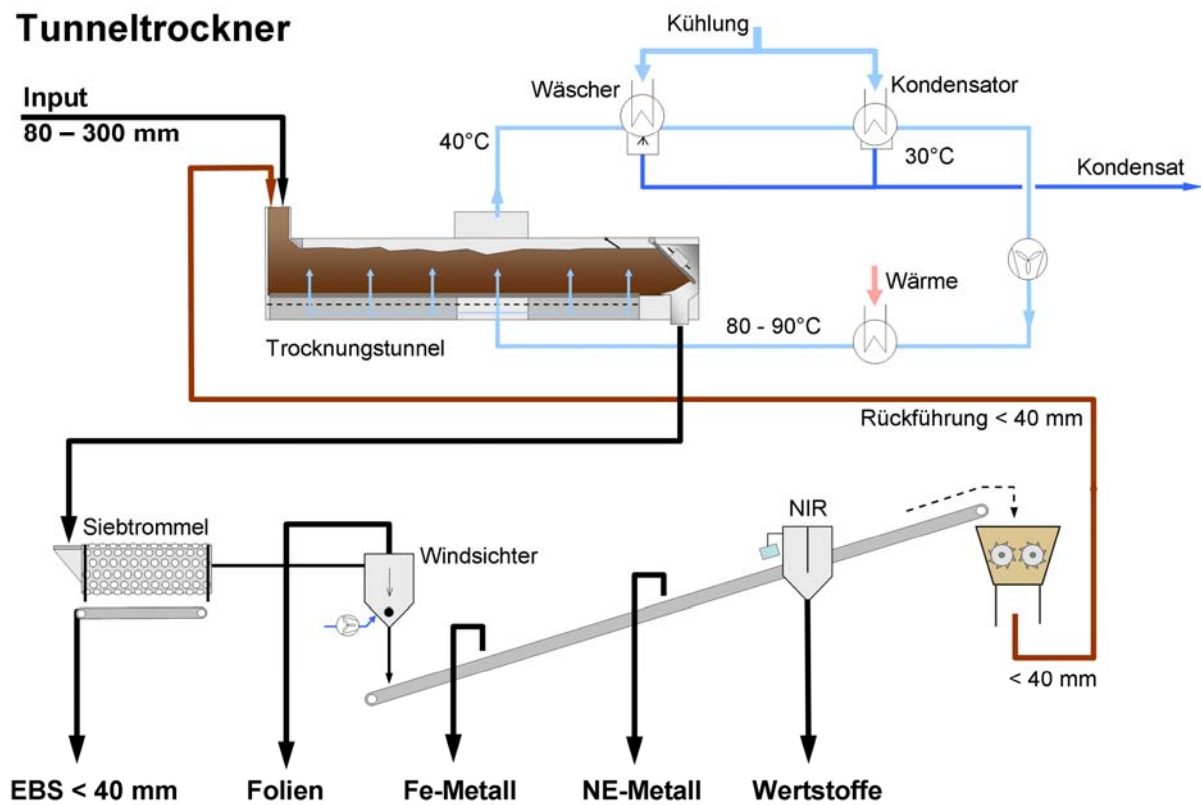


Bild 5: Verfahrensfließbild Tunneltrockner mit Aufbereitung

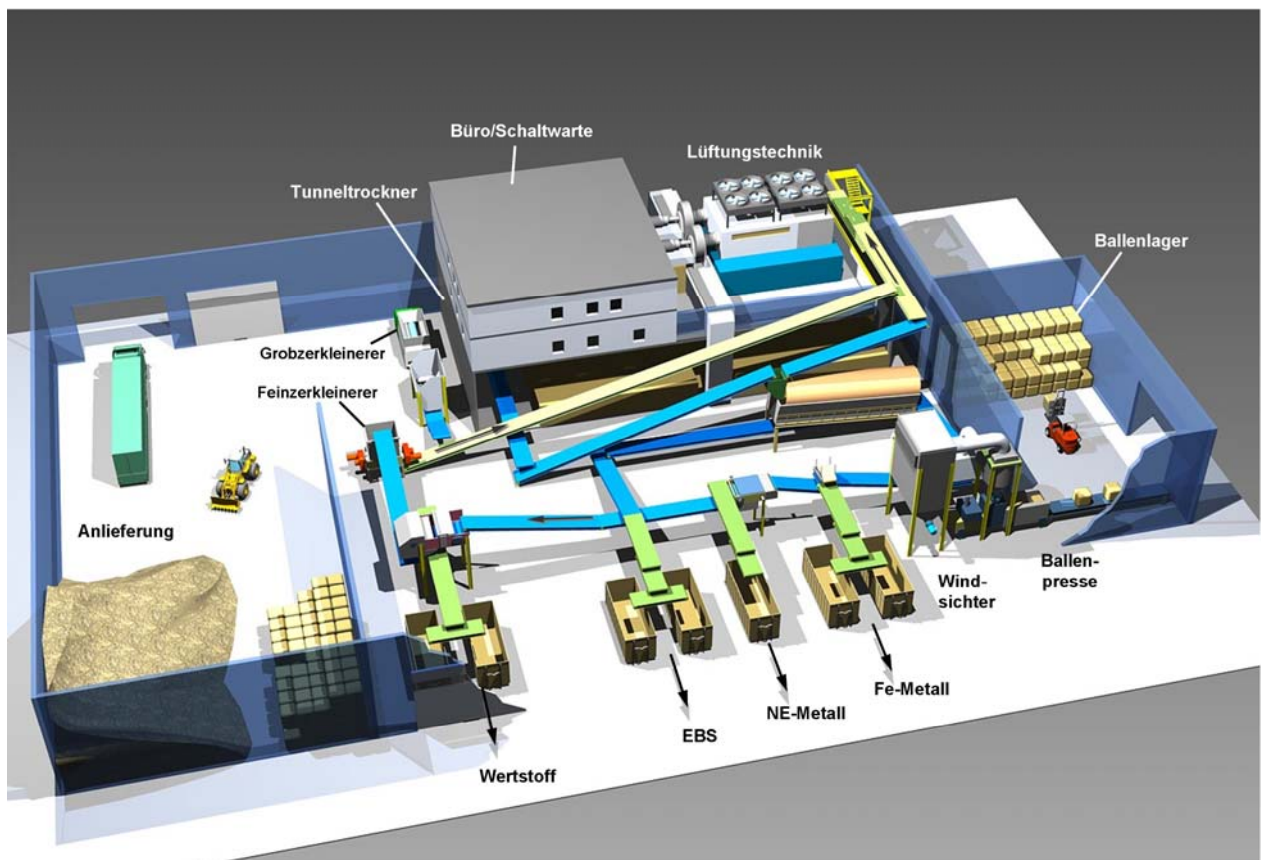


Bild 6: Darstellung des Tunneltrockners mit Aufbereitung

Als Ergebnis der Aufbereitung der Grobfraction werden trockene, geruchsarme und saubere Produkte erhalten, die stofflich und / oder energetisch verwertet werden können.

## 2.4 Modul 3: Nassmechanische Trennung der Feinfraktion

Die Feinfraktion < ca. 80 mm ist im Wesentlichen ein Dreistoffgemisch aus Wasser, Inertem (Sand, Steine, Glas) und Organik.

Eine nachhaltige Nutzung der Bestandteile der Feinfraktion setzt voraus, dass diese trennscharf aufgetrennt werden. Dazu muss das Verfahren – wie bereits in Kapitel 2.2 gefordert – in der Lage sein, auch Abfälle mit Korngrößen bis zu 150 mm zu verarbeiten. Ziel der Aufbereitung ist es, stofflich verwertbare Inertfraktionen sowie stofflich und/oder energetisch verwertbare Organikfraktionen zu gewinnen.

Das im Folgenden vorgestellte NMT (NassMechanischeTrenn)-Verfahren erfüllt diese Anforderungen. Die Entwicklung und Erprobung des NMT-Verfahrens wurde von EcoEnergy Gesellschaft für Energie- und Umwelttechnik mbH durchgeführt, von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert und von der Universität Duisburg-Essen wissenschaftlich begleitet.

### Historie NMT-Verfahren:

1994	Inbetriebnahme Bioabfall-Vergärungsanlage Bottrop mit einem Durchsatz von 6.500 Mg/a separat gesammeltem Bioabfall nach dem DBA-WABIO-Verfahren zur nass-mechanischen Trennung und Vergärung
1996	Versuchsanlage Münster – Batch-Verfahren nass-mechanische Trennung von Restabfall, 1-stufig
1997	Beginn der Forschung mit den Anforderungen aus dem Projekt La Coruña und Patentanmeldung Deutsche Babcock Anlagen, 2-stufige kontinuierliche nass-mechanische Trennung von Restabfall
1998	Versuchsanlage Münster II, 1-stufiger kontinuierlicher Betrieb mit mechanischer Eindickung und Nasssiegung und Entwässerung von Bioabfall mit der Fa. Meurer zur Vorbereitung der 2. Abscheidungsstufe
1999	Versuche zur nass-mechanischen Trennung mit der Fa. AKW Verfahrenstechnik GmbH & Lurgi Entsorgung GmbH, Simulation einer kontinuierlichen 2-stufigen nass-mechanischen Trennung
2000	Förderantrag an DBU, Bewilligungsempfänger EcoEnergy, Partner Universität Essen und Segler Förderanlagen GmbH
2002	Versuche mit der Fa. Segler zur Feinsiegung von Gülle und Gärresten zur Entwässerung und Bewilligung Förderantrag DBU
2004	Fertigstellung des Versuchscontainers NMT-PROCESS und Versuchsbetrieb im



	Abfallwirtschaftszentrum Wiefels
2005 / 06	Versuchsbetrieb Technikum EcoEnergy, Walkenried

Beim NMT-Verfahren wird das Dreistoffgemisch Wasser, Inertstoffe und Organik in Inertstofffraktionen, Organikfraktionen und eine Flüssigfraktion, die gelöste Stoffe sowie feinste Inertstoffe und Organikpartikel enthält, aufgetrennt. Als Trennmedium wird auf ca. 40 °C erwärmtes Kreislaufwasser verwendet. Durch die Erwärmung des Kreislaufwassers sinkt die Viskosität des Wassers, was dessen Trennwirkung verbessert und die Effizienz der Abpressung, der Thermo-Mechanischen-Zellyse (TMZ) und Hygienisierung der nativen Organik deutlich steigert.

In **Bild 7** ist das Verfahrensschema des NMT-Verfahrens dargestellt.

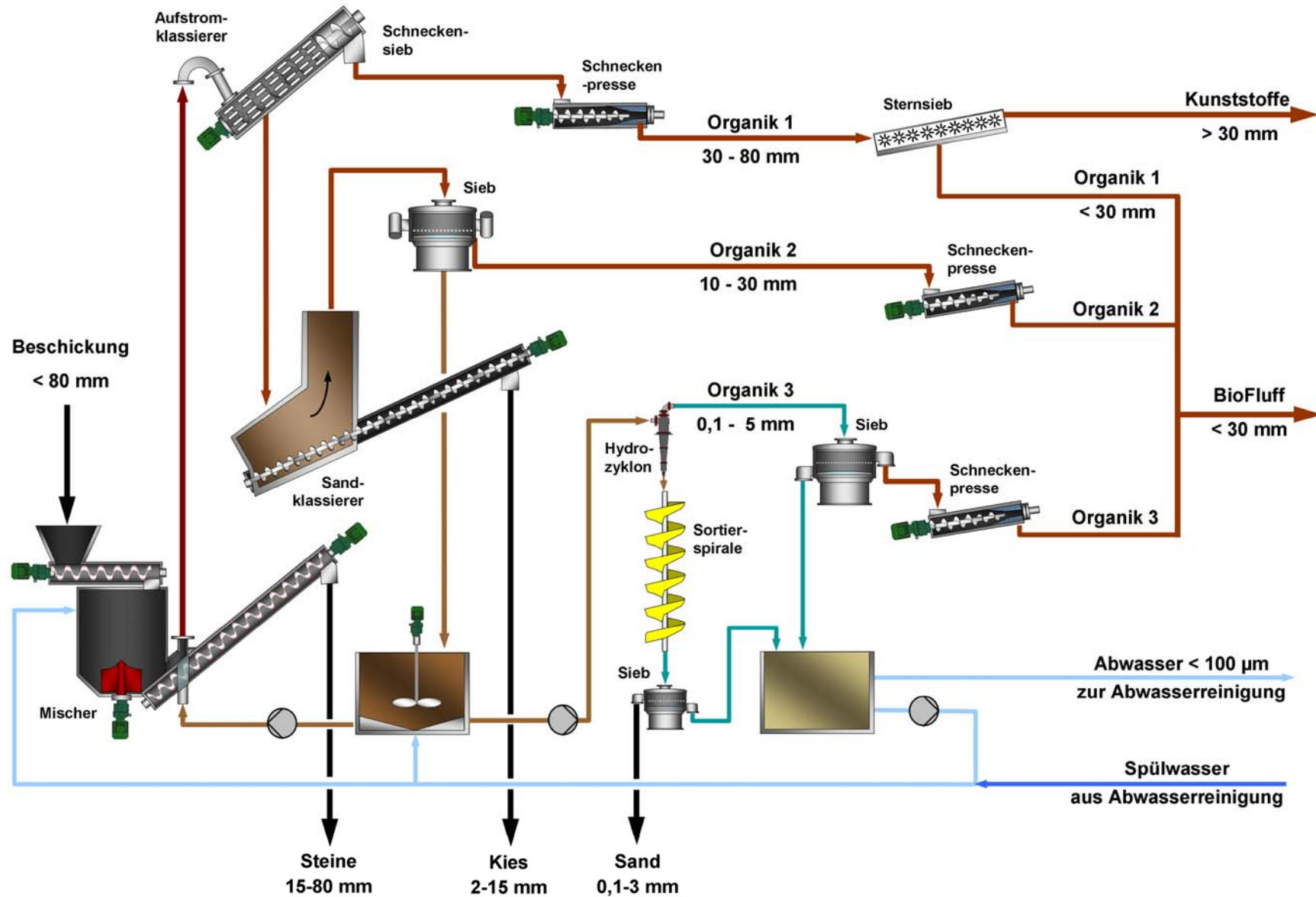


Bild 7: Verfahrensschema des NMT-Verfahrens

Der Abfall bzw. das Stoffgemisch wird in den Aufgabetrichter gegeben und vom Dosier-Spiralförderer in einen Mischbehälter gefördert. Der Mischbehälter kalibriert den Abfall auf den gewünschten Trockensubstanzgehalt.

Nach dem Aufstromklassierer wird die erste Trennung und mehrstufige Waschung grober schwerer Störstoffe, Fraktion Inert 1 (Steine), durchgeführt. Die Restsuspension wird über das hydraulische Gefälle in ein Schneckensieb geleitet. Der Siebüberlauf > 30 mm wird dort mehrfach gewaschen und in einer Schneckenpresse auf hohe Trockensubstanzgehalte von 50 % bis 60 % Trockensubstanzgehalt abgepresst.

Durch die Abtrennung der Grobstoffe und das Spülen mit Frischwasser steigt der Wassergehalt in der Suspension, so dass entsprechend des Zusammenhanges zwischen Siebgüte und Wassergehalt auch feineres Material mit hoher Trennschärfe abgetrennt werden kann (siehe **Bild 8**). Dieser Zusammenhang gilt auch für die folgenden Trennstufen, in denen durch die Feststoffabtrennungen der vorausgehenden Stufen der Wassergehalt steigt.

Inertstoffe können entweder trocken oder nass abgetrennt werden.

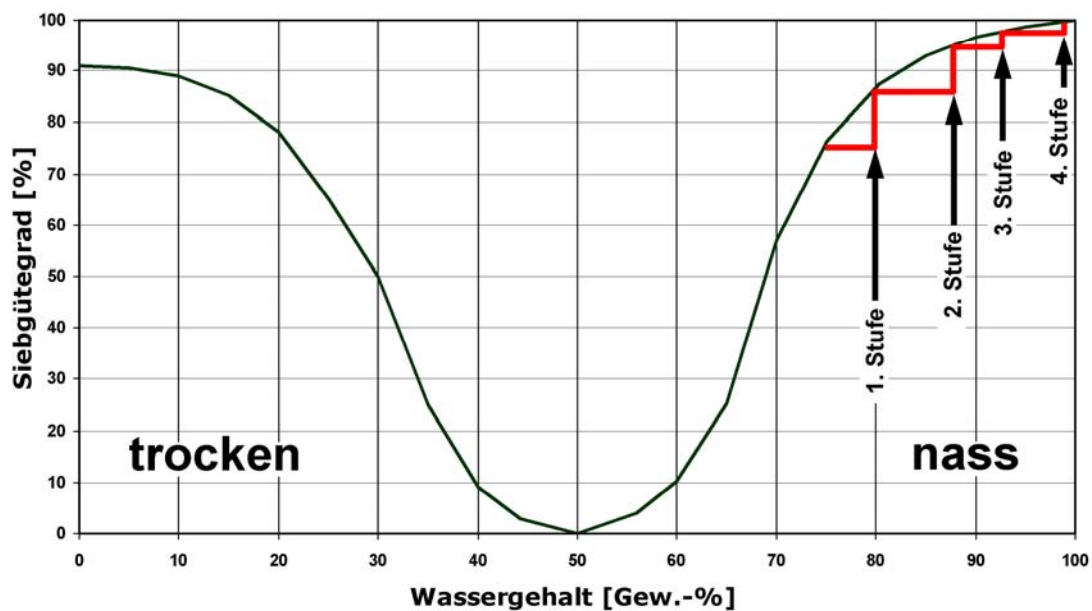


Bild 8: Einfluss des Wassergehaltes auf die Siebgüte [15]

Der Siebdurchlauf < 30 mm wird in einem Sandklassierer durch Schwimm-Sinktrennung von größeren Schwerstoffen (Inert 2, Kies) befreit. Die Schwerstoffe > 2 mm sinken zu Boden und werden durch einen Schneckenförderer mit verschiedenen Wasserqualitäten im Gegenstromverfahren gewaschen und anschließend entwässert. Die von den Inertstoffen > 2 mm befreite Restfraktion < 30 mm gelangt über einen Überlauf in eine Siebmaschine, wird dort nochmals gewaschen, bei 10 mm abgesiebt und mit einer Schneckenpresse mechanisch entwässert.

Die gesiebte Suspension ist nun pumpfähig und wird zur weiteren Reinigung einem Hydrozyklon zur Abscheidung der Feinsande (100  $\mu$ m bis 2 mm) zugeführt. Die von Sand gereinigte Suspension wird in einem speziellen Mikrosieb zur Erzeugung des Kreislaufwassers gereinigt. Die abgesiebte Faserfraktion Organik 3 (100  $\mu$ m bis 10 mm) wird gewaschen und mit einer

Schneckenpresse mechanisch entwässert. Der im Hydrozyklon abgetrennte Feinsand wird mit einer Sortierspirale bzw. Wendelscheider, der zur Goldwaschung entwickelt wurde, optimal aufbereitet, mit Frischwasser gewaschen und mit einem Mikrosieb entwässert.

Bei Bioabfall oder Restabfall arbeitet das Verfahren mit Wasserüberschuss. Aufgrund des fehlenden Wasserhaltevermögens können Inertstoffe bis auf einen Restwassergehalt < 5 % und organische Produkte bis zu einem Restwassergehalt von 40 % bis 45 % entwässert werden. Durch vorherige Fraktionierung und Inertstoffabscheidung, wird eine Thermo-Mechanische Zellyse (TMZ) ermöglicht, die eine Zerfaserung und einen Zellaufschluß und damit einen erhöhten Entwässerungsgrad bewirken.

Die NMT-Demonstrationsanlage in Containerbauweise mit einem Durchsatz von ca. 3 t/h wird in

**Bild 9** und

**Bild 10** gezeigt.

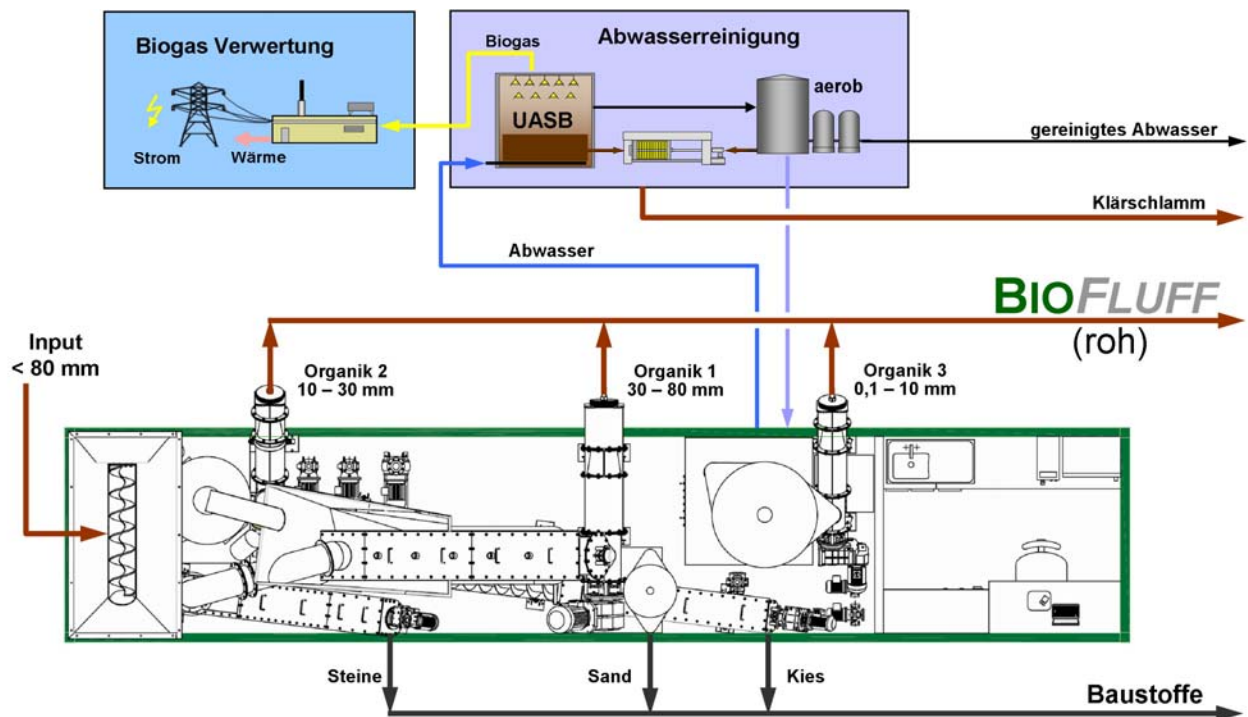


Bild 9: Draufsicht auf das NMT-Verfahren mit Benennung der Produkte

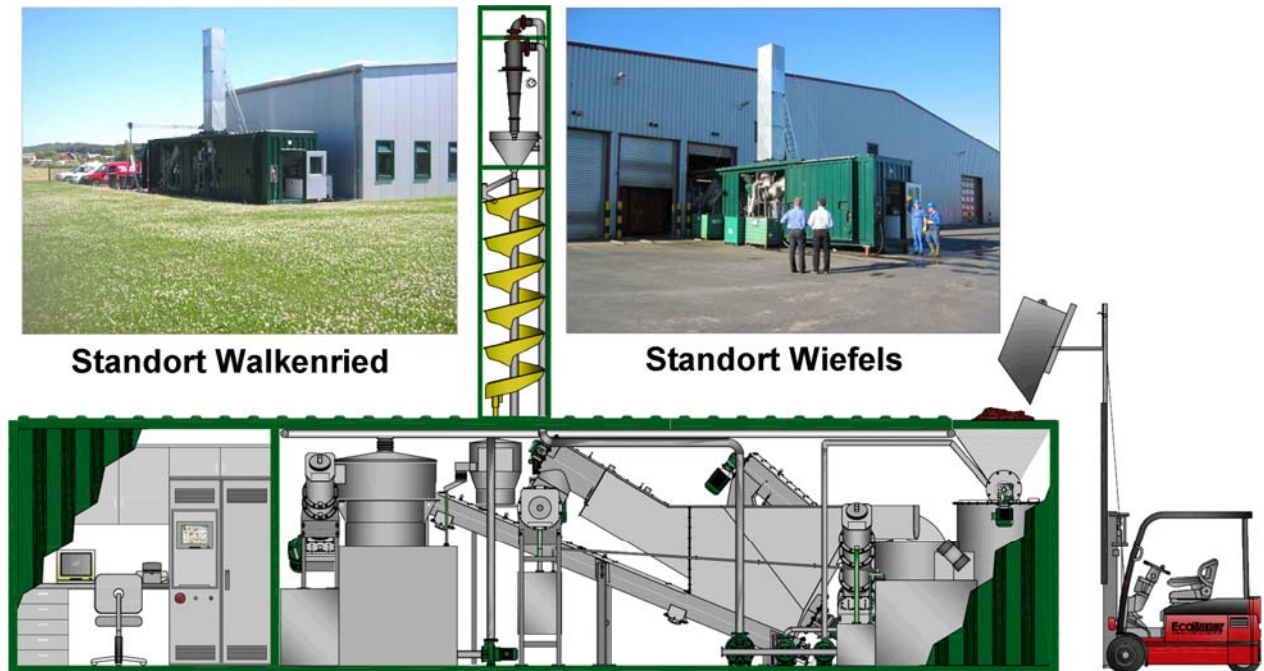


Bild 10: NMT Demonstrationsanlage Abfallwirtschaftszentrum Wiefels und Technikum EcoEnergy  
Walkenried,

#### **Verwertungsmöglichkeiten für die Inertfraktionen:**

Eine weitgehende Entwässerung der Inertfraktion ist auch ohne Trocknung möglich. 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 Bauschuttzubereitung verbessert werden.

Insgesamt können aus den Inertfraktionen folgende Produkte gewonnen werden:

- Steine
- Kies
- Sand

#### **Verwertungsmöglichkeiten für die Organikfraktionen**

Die Organikfraktionen werden nach ihrer Absiebung in Schneckenpressen entwässert. Neben der Entwässerung erfolgt als wesentlicher Verfahrensschritt eine Thermo-Mechanische-Zellyse. Bei Temperaturen von 65 °C bis 120 °C und Drücken von 10 bar bis 50 bar werden in Schneckenpressen oder Extrudern die nativ organischen Fraktionen bzw. Biomasse aufgeschlossen und größtenteils auf < 5 mm zerfasert. Fossile Organik bzw. Kunststoffe bleiben bei diesen Bedingungen weitgehend stabil und werden kaum auf Korngrößen < 5 mm zerkleinert. Mit einer nachfolgenden Siebung können so tendentiell die Kunststoffe abgetrennt werden. Zur Verbesserung der Trennschärfe vor der Siebung kann eine Trocknung mittels Bandtrockner durchgeführt werden. Die Organikfraktion 1 kann Kunststoffanteile bis zu 150 mm aufweisen. Zum Schutz des Bandtrockners erfolgt hier eine Absiebung der Kunststofffraktion bei ca. 30 mm mit einem Scheibensieb.

#### **Thermo-Mechanische-Zellyse im Feststoff beim NMT-Verfahren**

Zellyse, auch Zellaufschluß genannt, ist die Zerstörung der Zellmembran oder Zellwand. Zellyse kann enzymatisch, chemisch, thermisch oder mechanisch erfolgen.

Methoden der enzymatischen Zellyse basieren auf dem Lösen von Zellwandkomponenten durch z. B. das Enzym Lysozym. Die freigelegten instabilen Zellen werden anschließend durch osmotischem Schock oder mechanische Behandlung geöffnet.

Mechanische Zellyse wird durch Scherung verursacht. Die Scherung in der Flüssigphase wird durch Schütteln bei hoher Frequenz unter Zusatz von Glasperlen oder durch Hochdruckdüsen mit der sog. French-Press erhöht. Die Suspension wird bei hohem Druck von 400 bar bis 700 bar durch eine Düse geleitet, der Vorgang wird mehrfach wiederholt, je nach gewünschtem Aufschlußgrad.

Ultraschall ist eine weitere verbreitete Methode der Zellöffnung. Bei der Klärschlamm-Desintegration werden ähnliche Verfahren angewendet.

Thermische Zellyse ist bekannt durch die Verfahren Pasteurisierung, thermische Hygienisierung, thermische Klärschlamm-Konditionierung und Thermo-Druck-Hydrolyse. Bei der Thermo-Druck-Hydrolyse ist die Zellyse nur ein Teilschritt, Ziel ist die Aufspaltung der organischen Peptidbindungen durch Hydrolyse, mechanische Beanspruchungen sind unbedeutend.

Thermo-Mechanische-Zellyse (TMZ) ist die Kombination aus mechanischer und thermischer Zellyse und findet in der Flüssigphase kaum Anwendung, jedoch im Feststoff. Technisch wird TMZ mit Schneckenpressen bzw. -extrudern durchgeführt [22], [26]. TMZ bewirkt durch den Zellaufschluß einen hohen Entwässerungsgrad, eine Hygienisierung und eine biologische Stabilisierung durch das Austreiben der leicht abbaubaren Organik und des Zellwassers. Enthaltene Kunststoffe bleiben bei Drücken von < 50 bar und Temperaturen < 100 °C stabil und behalten weitgehend ihre ursprüngliche Größe. Die Thermo-Mechanische-Zellyse wird beim NMT-Verfahren zur selektiven Zerkleinerung von nativer Organik bzw. Biomasse und fossiler Organik bzw. Kunststoffe verwendet. Kunststoffe können nach einer entsprechenden Nachsiebung abgetrennt werden. Bei Organikgemischen mit sehr kleinen Kunststoffteilchen wie z. B. bei Spuckstoffen sind je nach erforderlichem Reinheitsgrad mehrfache TMZ-Durchläufe erforderlich.

### **Schadstoffentfrachtung**

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 durch das Press- und Waschwasser je nach Waschwasseraufbereitungs- und Presskonzeptes zu 50 % bis 90 % ausgetragen.

Feine organische Partikel und inerte Partikel wie Schluff < 100 µm haben aufgrund ihres großen Oberflächen-Gewichts-Verhältnisses einen spezifisch hohen Schadstoffgehalt an nicht löslichen Schwermetallen und weiteren Schadstoffen. Diese feinen Partikel werden im NMT-Verfahren ins Kreislaufwasser überführt und über die Abwasserreinigung sicher abgeschieden.

**Bild 11** zeigt die inerten und organischen Produkte des NMT-Prozesses. Die Organikprodukte (Roh-BioFluff) werden nach der Konfektionierung (Kapitel 2.6) als Pellets, Briketts oder Fluff gewonnen.



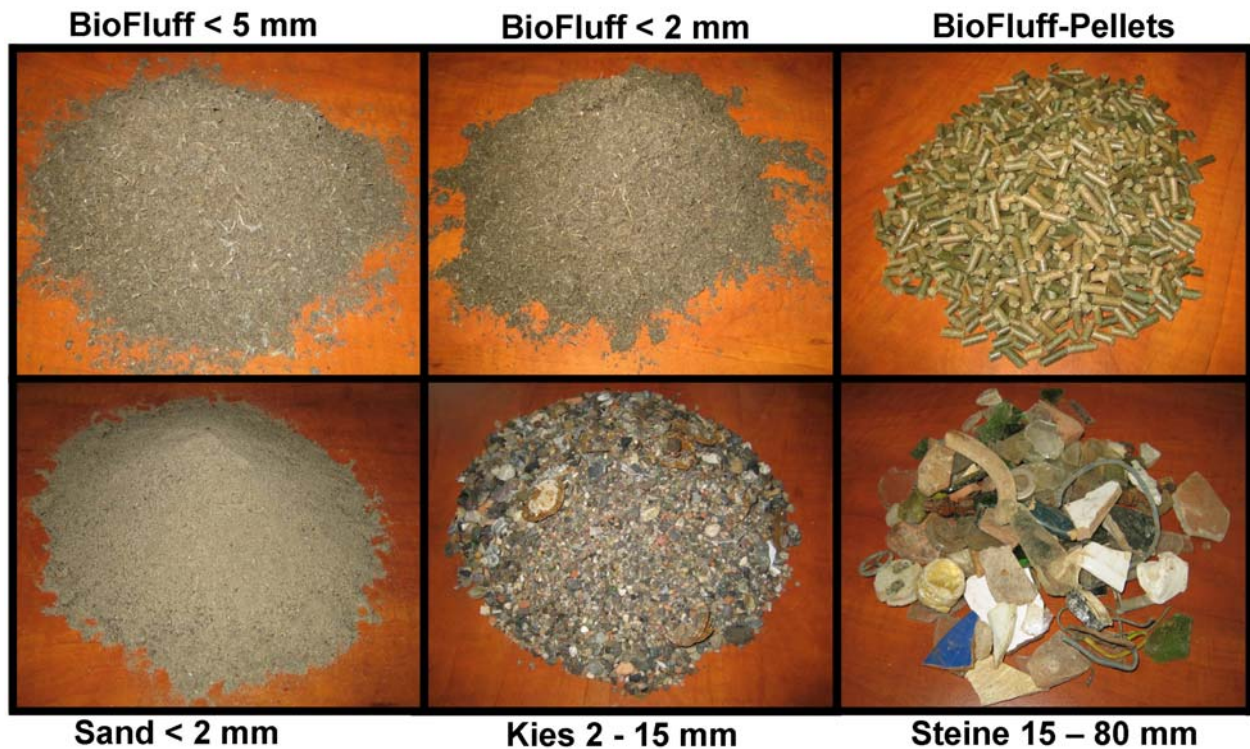


Bild 11: Produkte des NMT-Prozesses

### Einsatzstoffe NMT-Prozess

Neben der oben beschriebenen Feinfraktion < 80 mm aus Restabfall und Bioabfall können weitere Abfälle, die im Wesentlichen ein Gemisch aus Biomasse, Kunststoffen, Inertstoffen und Wasser darstellen, im NMT-Prozess effektiv behandelt werden:

- Gülle/ nasse organische Gewerbeabfälle
- Straßenkehrriech
- Spuckstoffe aus der Papierindustrie
- Siebüberlauf aus Kompostierungsanlagen u. ä.
- Baggergut/Hafenschlick/belasteter Bodenaushub
- Rechengut/Sandfangrückstände aus Kläranlagen

Durch die Vielzahl der möglichen Einsatzstoffe bei gleicher Verwertung der Inertfraktionen und organischen Fraktionen ist der Einsatz der NMT-Technologie auch dezentral wirtschaftlich.

## 2.5 Modul 4: Abwasserreinigung

Ein Ziel des NMT-Verfahrens ist es, die vergärbaren Bestandteile des Abfalls in das Kreislaufwasser zu überführen und entsprechend den Anforderungen einer anaeroben Industrie- wasserreinigung bei ca. 100 µm zu filtern. Besonders geeignet sind Hochleistungsverfahren mit anaeroben Festbettreaktoren oder mit Biomasserückhaltung nach dem UASB-Verfahren (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Speziell geeignet sind die UASB-IC-Reaktoren (UASB mit interner Zirkulation) der Firmen Paques und Aquatyx (**Bild 12**). Mit diesen Verfahren werden im Betrieb mit Kreislaufwasser Abbauleistungen von 30 kg CSB/m<sup>3</sup>xd bis 40 kg CSB/m<sup>3</sup>xd erreicht, im Labor bis 60 kg CSB/m<sup>3</sup>xd, das entspricht ungefähr der 10-fachen Leistung im Vergleich zu



konventionellen Biogasanlagen. Der CSB-Abbau liegt abhängig vom anaerob abbaubaren CSB-Anteil bei 75 % bis 95 % und die Verweilzeit bei ca. 15 bis 30 Stunden gegenüber 18 bis 21 Tagen bei konventionellen Biogasanlagen. Der BSB<sub>5</sub>-Wert liegt sicher unter 250 mg/l.



BIOPAQ -IC-Reaktor

Systemdarstellung  
UASB-IC-Reaktor

System Fa. Aquatyx

*Bild 12: Anaerobe Hochleistungsverfahren zur Abwasserbehandlung, [15], [2]*

Das erzeugte Biogas wird im BHKW verwertet, Strom und Wärme wird für den Gesamtprozess verwendet.

Der Ablauf aus dem UASB-Verfahren wird in einem Aerob-Festbett-Reaktor nachbehandelt und kann als Washwasser für das NMT-Verfahren zurückgeführt oder als Überschußwasser der weitergehenden Nitrifikations- und Denitrifikationsstufe der aeroben Abwasserbehandlung zugeführt und dann eingeleitet werden. Ist der Salzgehalt der Produkte aus dem NMT-Verfahren zu hoch, kann eine Umkehrosmose eingesetzt werden.

Der Klärschlamm, der in der Anaerob- und Aerobstufe der Abwasserbehandlung anfällt, ist die Schadstoffsenke des Gesamtverfahrens. Der Klärschlamm sollte zusammen mit kommunalem Klärschlamm verbrannt werden.

Die Abwasserbehandlung kann im Sinn der gestuften Inertstoffabscheidung als 4. Abscheidungsstufe bezeichnet werden, da der größte Anteil der Organik in Form von Biogas abgetrennt wird und die Inertstoffe < 100 µm im Klärschlamm angereichert werden. Die Klärschlammverbrennung ist die 5. Stufe der Inertstoffabscheidung, indem die Organik in Rauchgas umgesetzt wird und die Inertstoffe als Flugasche abgeschieden werden.

Durch die hohe spezifische Biogasproduktion aus dem Kreislaufwasser und die Vergütung für regenerative Energien nach dem EEG kann die Kreislaufwasserbehandlung quasi kostenneutral durchgeführt werden.

## 2.6 Modul 5: BioFluff Trocknung

Soll die Organik aus dem NMT-Prozess brikettiert, pelletiert oder durch weitere thermo-mechanische-Zellyse aufbereitet werden, muss ein Trockensubstanzgehalt  $> 60$  TS eingestellt werden, der nicht mehr mechanisch, sondern thermisch über eine Trocknung erfolgen muss. Für eine Brikettierung ist eine Restfeuchte von 25 % bis 30 % ausreichend, für eine Pelletierung sind Restfeuchten von 8 % bis 15 % erforderlich. Durch die hohen TS-Gehalte von 55 % bis 60 % der abgepressten Organik aus dem NMT-Prozess ist die nachfolgende Trocknung weniger energieintensiv.

Zur Trocknung kann bei Verwendung eines Bandtrockners im Umluftbetrieb Niedertemperaturwärme  $< 100$  °C als Abwärme eingesetzt werden. Durch den Umluftbetrieb wird die Abluftmenge minimiert.

Nach der Trocknung wird die Organik (Roh-BioFluff) bei 5 mm gesiebt, wobei im Siebüberlauf die verbleibenden Kunststoffe abgetrennt werden. Im Siebdurchgang befindet sich zu fast 100 % native Organik wieder, die im Folgenden **BioFluff** genannt wird. Sollten sich im Siebdurchgang noch nennenswerte Kunststoffanteile befinden, ist die Thermo-Mechanische-Zellyse (TMZ) vor der Trocknung mehrfach bzw. intensiver durchzuführen, so dass die Biomasse eine noch kleinere Korngröße aufweist und damit eine kleinere Sieblochung zur Kunststoffabtrennung gewählt werden kann.

Ist keine Abwärme am Standort vorhanden, kann BioFluff alternativ biologisch getrocknet werden. Eine biologische Trockenstabilisierung hat aber bei Restabfall den Nachteil, dass eine relativ aufwändige Abluftreinigung entsprechend den Anforderungen der 30. BImSchV durchzuführen ist.

## 2.7 Modul 6: BioFluff Konfektionierung

Der getrocknete und gesiebte BioFluff wird entsprechend des vorgesehenen Verwertungsweges konfektioniert. BioFluff ist eine schadstoffreduzierte, trockenstabilisierte, aufgefaserte Biomasse und als Rohstoff vielseitig einsetzbar. Für eine Verwertung als Trockendünger ist eine Pelletierung, zur direkten energetischen Verwertung eine Brikettierung oder Pelletierung vorgesehen. Sollte BioFluff weiter verarbeitet werden, z. B. zu Methan oder Ethanol vergoren oder zu Werkstoffen in Form von Dämmstoffen, Baustoffen oder Filterstoffen aufbereitet werden, kann eine Pelletierung oder Brikettierung aus Transportgründen wegen der geringen Dichte von BioFluff erforderlich sein.

Ziel der Forschungsarbeiten von EcoEnergy ist die Schaffung eines Qualitätssicherungssystems, wie es auch für andere Produkte aus Abfall eingeführt wurde, z. B. Bundesgütegemeinschaft Kompost und Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe, hier jedoch bezogen auf die verschiedenen Einsatzgebiete von BioFluff. Es sollen Qualitätskriterien erarbeitet werden für:

1. BioFluff-Pellets als Trockendünger, unterteilt nach Einsatz für den Anbau von Nahrungsmitteln oder zum Anbau nachwachsender Rohstoffe oder zur Landschaftspflege

2. BioFluff-Fuel als Pellet oder Brikett zur Verbrennung, unterteilt für den direkten Einsatz in Biomassekraftwerken mit Rauchgasreinigung nach 17. BImSchV und die direkte Mitverbrennung in modernen Kohlekraftwerken oder Industrieanlagen
3. Vergärung von BioFluff, unterteilt in die Methan- und Ethanolgärung
4. Produktion von Werkstoffen auf Grundlage der Fasern wie Pressplatten, Verpackungsmaterialien, Dämmstoffe, Filterstoffe, faserverstärkte Kunststoffe etc.

### **2.7.1 BioFluff-Pellets als Trockendünger**

Ziel einer Kompostierung ist neben der Störstoffentfrachtung die Erzeugung eines pflanzenverträglichen, hygienisierten, geruchsarmen und lagerfähigen Substrates zur Bodenverbesserung und Düngung. BioFluff ist durch den NMT-Prozess störstoff- und schadstoffentfrachtet sowie durch die Thermo-Mechanische-Zellyse hygienisiert und geruchsarm. Die Lagerfähigkeit und weitere Geruchsreduzierung erfolgt durch die Trocknung.

BioFluff-Pellets sorgen durch die mechanische Bindung der Inhaltsstoffe dafür, dass noch enthaltene leicht abbaubare Organik nur langsam bei Regen oder bei der Bewässerung aus dem Pellet herausgewaschen wird, aber nicht konzentriert an die Bodenflora in unmittelbarer Nähe der Wurzel gelangen kann (Nikotin-Pflaster-Effekt). Da die leicht abbaubare Organik so nicht konzentriert an die Pflanzen abgegeben wird, ist BioFluff-Pellets pflanzenverträglich. Nach der Ausbringung findet ein weiterer Umbau der leicht abbaubaren Organik (Kompostierung) im Pellet auf dem Feld statt, nachdem das Pellet erstmals befeuchtet wurde. Die BioFluff-Pellets sollten nach ca. 3 Monaten zerfallen, bis dahin wurden alle leichtabbaubaren Bestandteile entweder langsam ausgewaschen oder im Pellet abgebaut. Im Rahmen der Forschungsarbeiten von EcoEnergy wird die Qualität der BioFluff-Pellets im Vergleich zu Reifekompost untersucht.

Die BioFluff-Pellets können zudem durch Zugabe von Langzeitdüngerpellets mit Phosphat, Kalium und Stickstoff auf ein optimales PKN-Verhältnis eingestellt werden und zusammen über einen Tellerstreuer ausgebracht werden. Es fallen somit keine zusätzlichen Kosten für die Ausbringung von BioFluff-Pellets an, wie dies bei der Kompostausbringung der Fall wäre. Die Lagerung von BioFluff-Pellets ist aufgrund der guten Schüttguteigenschaften und der Silo- und Flugfähigkeit einfach. Die Pellets können darüber hinaus ganzjährig sogar auf die stehende Frucht ausgebracht werden, so dass die Lagerhaltung für die Pellets weitgehend entfallen könnte.

### **2.7.2 direkte energetische Verwertung**

BioFluff-Fuel ist ein ausgezeichneter regenerativer Brennstoff mit geringem Chlorgehalt. Der Chlorgehalt liegt normiert auf den Heizwert von Steinkohle bei  $< 0,2 \%$  und entspricht den Vorgaben für Steinkohle auch hochmoderner Kohleverbrennungsanlagen mit überkritischen Dampfparametern. Eine hochwertige energetische Verwertung des 100%igen regenerativen Brennstoffes BioFluff-Fuel ist möglich in:

- Kohlekraftwerken mit Staubfeuerung, wobei die Pellets den Kohlemühlen zugegeben werden
- Wirbelschichtfeuerungsanlagen
- Biomassekraftwerke mit Kraft-Wärmekopplung
- dezentralen Kleinanlagen, vorzugsweise zur Wärmeerzeugung

BioFluff-Fuel aus getrennt erfassten Bioabfällen ist ebenso regenerativer Brennstoff im Sinne des Europäischen [29] und Deutschen [14] Rechts wie BioFluff aus der Feinfraktion von Restabfall aus Haushalten. Nachfolgend wird beispielhaft die Definition von Biomasse nach EU-Recht zitiert

Artikel 2 b: „Biomasse: der biologisch abbaubare Anteil von Erzeugnissen, Abfällen oder Rückständen der Landwirtschaft .... sowie der biologisch abbaubare Anteil von Abfällen aus Industrie und Haushalten“

Gegen eine Einstufung von BioFluff aus der Feinfraktion von Restabfall als Biomasse nach dem Erneuerbaren Energien Gesetz [14] spricht lediglich, dass Restabfall aus der Vergütungsregelung des EEG ausgeschlossen ist, weil der Gesetzgeber die Abfallvermeidung fördern möchte und so keine Anreize für die Abfallentstehung und nachfolgende energetische Verwertung gibt.

Falls BioFluff unabhängig von seiner Herkunft als CO<sub>2</sub>-neutrale Biomasse eingestuft wird und die erwarteten niedrigen Chlorgehalte aufweist, sind Betreiber von Kohlekraftwerken bereit, für diesen Brennstoff auf Preisbasis Mitte 2006 15 €/t bis 30 €/t zu zahlen. Der Preis für BioFluff-Fuel wird sich an der Kohlepreisentwicklung und der Entwicklung der Börsenkurse für CO<sub>2</sub>-Zertifikate orientieren.

### **2.7.3 Umwandlung in Edeln Brennstoffe (Ethanol, Methan) durch Vergärung**

BioFluff ist durch die weitgehende Thermo-Mechanische-Zelllyse für biochemische Prozesse zugänglich und so zur Umwandlung in Edeln Brennstoffe wie Methan oder Ethanol durch Vergärung gut geeignet.

Die Umwandlung des BioFluff in Methan ist grostechnisch ohne Probleme und mit hohen Ausbeuten möglich. Das erzeugte Methan kann entweder direkt in einem BHKW verwertet oder aber weiter aufbereitet werden.

Die energetisch zu bevorzugende Umwandlung in den speicherbaren Brennstoff Ethanol ist davon abhängig, ob es auch großtechnisch in akzeptablen Reaktionszeiten gelingt, die Zellulose und Hemizellulose des BioFluff in vergärbare Zucker – Saccharose – umzuwandeln, der dann von Hefen direkt zu Ethanol vergoren wird. Technisch schwierig und reaktionstechnisch langsam ist der Abbau von Zellulose und Hemizellulose zu vergärbaren Zuckern. Ausserdem können die meisten zur Ethanolproduktion verwendeten Mikroorganismen nicht alle aus der Hemizellulose freigesetzten Zuckerarten vergären. Für einen wirtschaftlich ausgereiften Prozess ist dies jedoch eine wichtige Voraussetzung. Einen großen Fortschritt in dieser Richtung haben Forscher der Goethe-Universität Frankfurt [7] gemacht, die eine neue Hefe gescreent haben, die in der Lage ist, nahezu alle in Pflanzenabfällen vorhandenen Zuckerarten zu Ethanol zu vergären. Falls eine derartige Vergärung gelingt, müsste das erzeugte Ethanol-Wassergemisch mittels Rektifikation in reinen Bioethanol aufkonzentriert werden. Hier ist weiterer Forschungsbedarf zu sehen.

### **2.7.4 Verwendung von BioFluff als Faserwertstoff**

BioFluff besteht aus organischen Fasern, dessen stoffliche Eigenschaften in Form von Baustoffen (Dämmplatten, Pressplatten etc.) und für faserverstärkte Kunststoffe genutzt werden können.

BioFluff weist außerdem auf Grund der guten Auffaserung eine hohe spezifische Oberfläche mit Affinität für Öle auf. Daher kann es gut als Filtermaterial / Aufsaugmasse bei Ölfällen genutzt werden.

Die Anwendbarkeit von BioFluff als Faserwertstoff wurde bereits großtechnisch für landwirtschaftliche Abfälle (Stroh, Grüngut etc.) nachgewiesen [22].

## **2.8 Gesamtdarstellung der Module**

In Bild 13 ist das vorgeschlagene Gesamtverfahren zukunftsfähiges MBA-Konzept – Vision 2020 – und in Bild 14 ist die Massenbilanz beim Einsatz von Restabfall dargestellt.



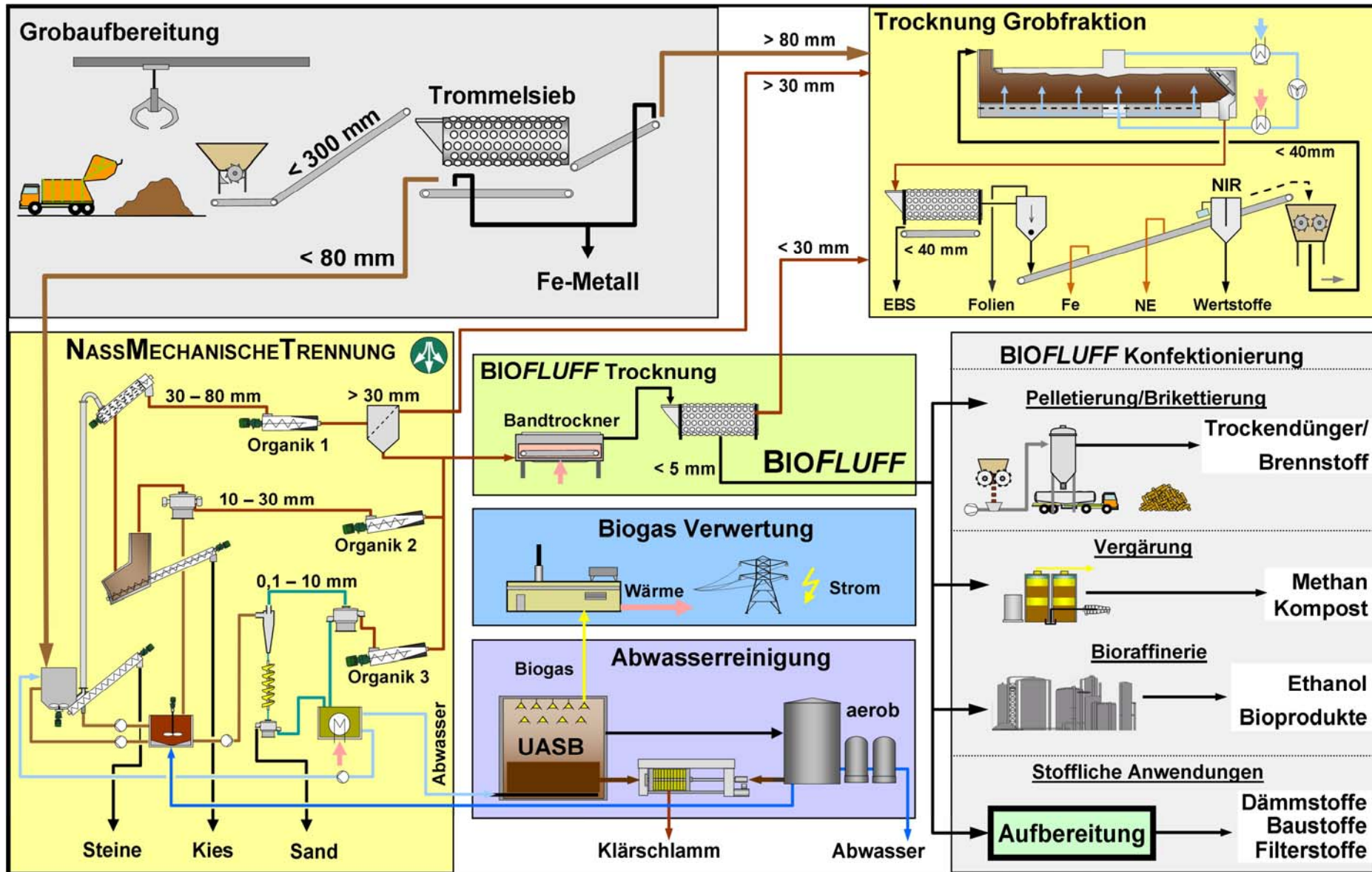


Bild 13: Gesamtverfahrensdarstellung

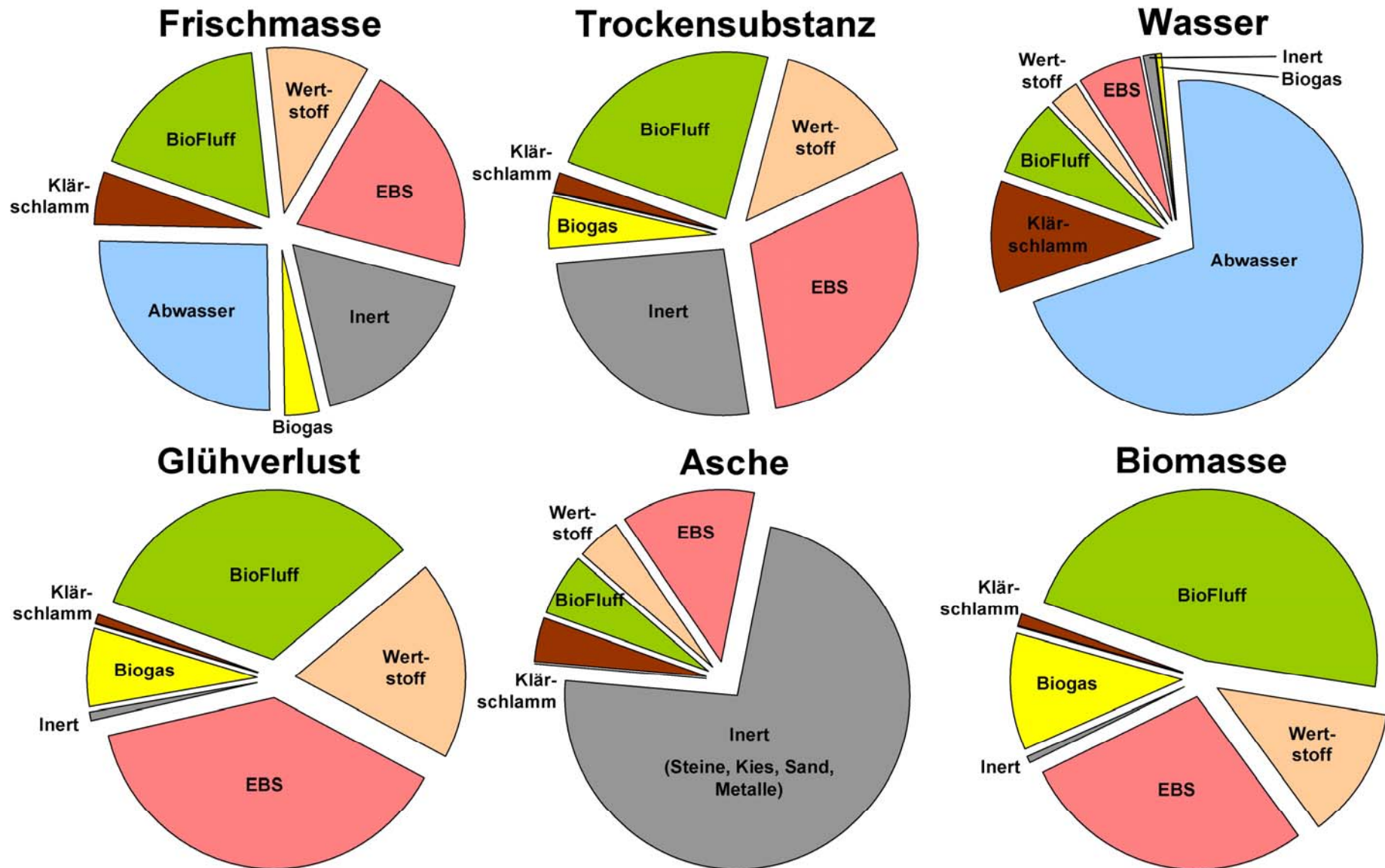


Bild 14: Stoff- und Mengenbilanz des Gesamtverfahrens



## Kap. 3 Anbau nachwachsender Rohstoffe

Wie bereits oben dargelegt, kann BioFluff auch zu Trockendüngerpellets verarbeitet werden. Eine optimale Düngewirkung kann durch die bedarfsorientierte Zumischung mineralischer Düngerpellets eingestellt werden. Sollen die BioFluff-Pellets zur Düngung landwirtschaftlicher Flächen verwendet werden, ist deren Schadstoffarmut Grundvoraussetzung.

Sollte trotz der Schadstoffanreicherung durch das NMT-Verfahren die Schadstoffbelastung für den Einsatz der Nahrungsmittelerzeugung zu hoch sein, können BioFluff-Düngerpellets z. B. aus dem Hausmüll zur Düngung/Bodenverbesserung von landwirtschaftlichen Flächen verwendet werden, auf denen nachwachsende Rohstoffe angebaut werden.

### 3.1 Anbau nachwachsender Rohstoffe – Warum?

Die Möglichkeiten, die nachwachsende Rohstoffe bieten, sind vielfältig. Nachfolgend sind wichtige Produkte aufgeführt, die in sogenannten Bioraffinerien [19] erzeugt werden. Aus nachwachsenden Rohstoffen können, neben Energieträgern, Werkstoffe, Baustoffe, Medikamente etc. erzeugt werden ([13], [28], [18]) d. h. nahezu das gesamte Spektrum an chemischen Industrieprodukten, die bisher mit den fossilen Rohstoffen Kohle, Öl und Gas hergestellt wurden.

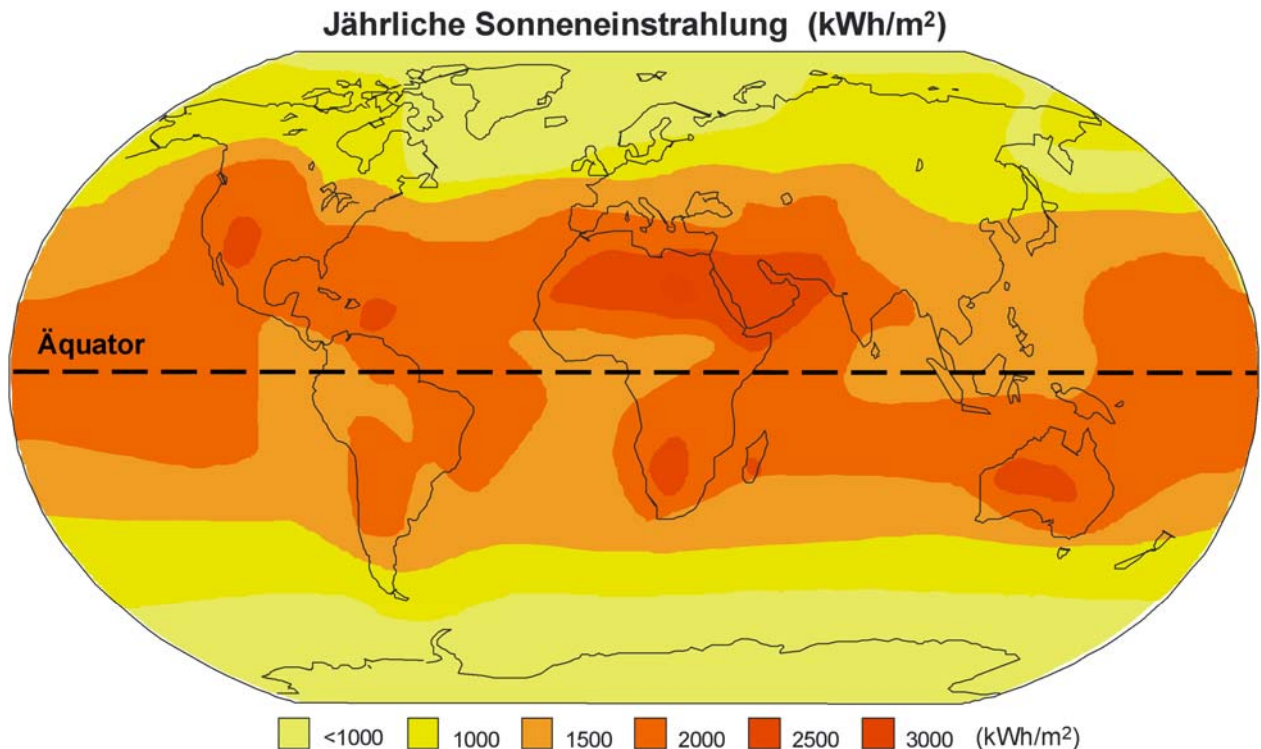
<p><b>1. Energieträger</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Ethanol</li> <li>b. Biodiesel</li> <li>c. Methan</li> <li>d. Festbrennstoffe</li> </ul>	<p><b>2. Pharmazeutische Produkte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Vitamine</li> <li>b. Etherische Öle</li> <li>c. Zitronensäure</li> <li>d. Antibiotika</li> </ul>	<p><b>3. Baustoffe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Dämmstoffe</li> <li>b. Holzprodukte</li> <li>c. Pressplatten</li> </ul>
<p><b>4. Verpackungsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Folien (aus Proteinen)</li> <li>b. weitere Kunststoffe</li> <li>c. Papier / Pappe</li> </ul>	<p><b>5. Grundstoffe Chemieindustrie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Ethanol</li> <li>b. technische Öle</li> <li>c. Farben</li> </ul>	<p><b>6. Landwirtschaft</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Dünger</li> <li>b. Kompost</li> <li>c. Flüssigdünger</li> </ul>

Im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaft muss es bereits mittelfristig das Ziel sein, die Volkswirtschaften auf nachwachsende Rohstoffe umzustellen, d. h. zu einer Rohstoffbasis zurückzukehren, die erst in den letzten 100 Jahren verlassen wurde.

### 3.2 Anbau nachwachsender Rohstoffe – Wo?

Nachwachsende Rohstoffe können in den sonnenreichen aber biomassearmen Ländern besonders effektiv angebaut werden. Durch die intensive Sonneneinstrahlung sind hier mehrere Ernten pro Jahr üblich und führen zu einer guten Ausbeute an nachwachsenden Rohstoffen. Die Biomasseproduktion ist wie bei einer Fotovoltaikanlage linear zur Sonneneinstrahlung.

**Bild 15** zeigt die Intensität der Sonneneinstrahlung auf der Erde.



*Bild 15: mittlere Sonneneinstrahlung [23]*

Gebiete in Deutschland bzw. in Mittel- und Nordeuropa sind auf Grund der geringen Sonneneinstrahlung nur bedingt für den Anbau nachwachsender Rohstoffe geeignet. Wie aus

**Bild 15** hervorgeht, ist die Sonneneinstrahlung und damit die Biomassebildung bereits im Mittelmeerraum mehr als doppelt so hoch wie in Deutschland. Es für den Aufbau nachhaltiger Volkswirtschaften sinnvoll, die Gebiete intensiverer Sonneneinstrahlung zu berücksichtigen.

### **3.3 Anbau nachwachsender Rohstoffe – Wie?**

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen in den sonnenreichen Ländern setzt eine ausreichende Wasserversorgung voraus. Dieses Problem kann durch effizientere Wassernutzung, intelligente Bewässerungssysteme, solare Meerwasserentsalzung, Bodenentsalzung durch Umkehrosmose im Brackwasserbereich und in Bereichen mit hochliegender geologischer Barrieren und Auswahl von Anbaugebieten in Flusswasser- und Gebirgswasserbereich gelöst werden. Wasser stellt demnach nicht den begrenzenden Faktor dar.

Neben Wasser müssen vor allem geeignete Böden vorhanden sein. Hier fehlen aber häufig die notwendigen Biomassen bzw. humushaltigen Böden mit hinreichender Wasser- und Nährstoffhaltekapazität. Gebiete hoher Sonneneinstrahlung und damit hoher Wachstumsraten bzw. Biomasseausbeuten weisen außerdem eine zunehmende Bodendegradation - die umfassende Verschlechterung der biologischen und geologischen Beschaffenheit des Bodens - auf. Das weltweit größte Problem ist die Bodenerosion und Desertifikation (ca. 80 % der von Bodendegradation betroffenen Fläche), unter der die Entwicklungsländer in den Trockengebieten der Erde besonders leiden. Auch die Bodenversalzung konzentriert sich auf diese Klimazone. Weltweit sind ca. 20 Mio. km<sup>2</sup>, das sind ca. 15 % der nutzbaren Erdoberfläche, von Bodendegradation betroffen. Eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung oder gar die Wiederherstellung degradierten Böden "leisten" kann sich nur eine ökonomisch und sozial gesicherte ländliche Bevölkerung, soweit es nicht, wie verbreitet, an einem hinreichenden Bodenbewußtsein mangelt.

Technisch kann der Bodendegradation durch Zugabe von Biomasse bzw. Bodensubstrate, wie Kompost oder BioFluff-Pellets und deren Fixierung auf den Flächen begegnet werden. Derartige Bodensubstrate fallen in den Ländern den sonnenreichen Ländern nicht, unzureichend oder nicht in nutzbarer Form an und werden meist vollständig für die Nahrungsmittelproduktion verwendet. In den sonnenarmen Ländern wie Mitteleuropa dagegen werden große Anteile der nutzbaren Biomassen auf Deponien abgelagert oder verbrannt. Daher ist die Verknüpfung des „Entsorgungsproblems“ mit dem Biomasse-mangelproblem sinnvoll. Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen in den sonnenreichen bereits von Bodendegradation betroffenen Biomasse-mangelgebieten ist daher mit Hilfe eines Organiktransfers aus den Biomasseüberschussgebieten möglich.

Ein Transfer von Biomasse in Form von BioFluff-Pellets ist technisch unproblematisch, da die Pellets wie anderes Schüttgut lagerbar, verschiffbar und im Anknuffhafen ohne besondere Infrastruktur wieder löschar sind.

Die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe sollte nicht in Konkurrenz zur Lebensmittel-erzeugung stehen. Zur Produktion von nachwachsenden Rohstoffen sollten vorrangig Flächen verwendet werden, die aufgrund ihrer Vorbelastung, Lage oder Beschaffenheit nicht für die Lebensmittelproduktion geeignet sind.

### **3.4 Anbau nachwachsender Rohstoffe dient dem Klimaschutz**

Ein weiterer Vorteil des Anbaus nachwachsender Rohstoffe in den sonnenreichen Ländern mit Hilfe von Biomasse aus Biomasseüberschussgebieten ist ein langfristiger Klimaschutz. Das Kyoto-Protokoll sieht drei Instrumente vor, die den Vertragsstaaten Flexibilität bei der Umsetzung ihrer Reduktionsziele erlauben:

1. Emissionshandel
2. Joint Implementation
3. Clean Development Mechanism

Grundgedanke ist die Einhaltung von Teilen der Reduktionsverpflichtungen der Industriestaaten durch Maßnahmen in den sonnenreichen Ländern.

### **3.5 Anbau nachwachsender Rohstoffe kann sozialverträglich sein**

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe auf degradierten Böden sonnenreicher Länder ist sozialverträglich, sofern er auf mittelständischen und lokalen Strukturen basiert. Statt wie bisher, fossile Energieträger und Rohstoffe aus den sonnenreichen Ländern einzuführen, was nahezu keine Vorteile für deren Bevölkerung zur Folge hat, kann durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe ein höheres Maß an Sozialverträglichkeit erreicht werden. Dies gilt zum einen für den eigentlichen Anbau der nachwachsenden Rohstoffe, aber auch für deren anschließende Veredelung und Wertschöpfung vor Ort.

Bei der Veredelung muss der Standortvorteil – Sonnenenergie im Überfluss – ebenfalls genutzt werden. So kann der benötigte elektrische Strom photovoltaisch und Süßwasser über solare Mehrwasserentsalzung hergestellt werden, während Prozesswärme – z. B. zum Trocknen – ebenfalls mit Hilfe der Sonne hergestellt wird. Sowohl Photovoltaik, als auch die solare Wärmeerzeugung stellen den Stand der Technik dar, für dessen Bedienung keine hochspezialisierten Fachkräfte benötigt werden.

Erhöhte Wertschöpfung in den Entwicklungs- und Schwellenländern kann mittel- und langfristig dazu beitragen, das Nord-Süd-Gefälle zu reduzieren.

### **3.6 Biosolarzelle versus Photovoltaik**

Vergleicht man die Praktikabilität der oben skizzierten „Biosolarzelle“ mit der Photovoltaik für die Erzeugung speicherbarer Energieträger, wie Ethanol, ergibt sich folgendes Bild.

Herkömmliche Solarzellen (Photovoltaik) können die eingestrahlte Sonnenenergie mit einem Nettowirkungsgrad von ca. 10 % bis 14 % über ihre Lebenszeit in elektrischen Strom umwandeln. Der Strom ist in eine speicherbare und transportierbare Energieform, z. B. als Ethanol umzuwandeln, wozu neben dem mittels Photovoltaik und Elektrolyse gewinnbarem Wasserstoff auch ein Kohlenstoffträger benötigt wird. Die elektrolytische Wasserstoffherstellung ist mit einem Wirkungsgrad von 85 % möglich, die Herstellung des speicherbaren Flüssigbrennstoff Ethanol mit Hilfe von Wasserstoff und Biomasse mit einem Wirkungsgrad von 50 % bis 60 % (z.B. in [4][17]). Der Kohlenstoffträger kann neben Kohle nur aus Biomasse gewonnen werden, da eine Gewinnung von Kohlendioxid aus der Luft praktisch nicht möglich ist. Die Erzeugung eines speicherbaren Energieträgers aus Wasserstoff ist auf Biomasse angewiesen.

Der Wirkungsgrad einer Pflanze bis zur Erzeugung von fester Energie als C4-C6 Körper ist dagegen mit ca. 5 % in vergleichbarer Größenordnung, wobei die Strukturenergie der Biomasse nicht berücksichtigt wurde. Die Sonnenenergienutzung zur Erzeugung transport- und lagerfähiger Brennstoffe ist mittels Biomasse („Biosolarzelle“) wesentlich effektiver und weniger stör anfällig als die Photovoltaik.

Für die Stromerzeugung zur direkten Nutzung ist die Photovoltaik deutlich effizienter als eine Biosolarzelle. Berücksichtigt man jedoch die in den Biomassestrukturen gespeicherte Energie, ist dieser Vergleich noch zu führen.

## **Kap. 4 Zusammenfassung und Ausblick**

Die Betrachtung der Abfallwirtschaft als Rohstofflieferant wird in der Vision 2020 vorausgesetzt. Dieser Beitrag ist ein Versuch, Möglichkeiten der Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen aufzuzeigen.

MBA-Technologie ist nicht nachhaltig, solange der Energieinhalt der Organik nutzlos an die Umgebung abgegeben wird und die Reststoffe deponiert werden.

Genauso wenig wie Mehrwegflaschen in jedem Fall ökologischer sind als Einwegverpackungen, ist die separate Einsammlung von Bioabfall, Hausmüll und Verpackungsabfällen einer effizienten Aufbereitungs- und Verwertungstechnologie vorzuziehen.

Die Vielzahl der vorgestellten Verwertungsmöglichkeiten von Abfallfraktionen sollte Anreize schaffen, die Vision 2020 zu unterstützen.

### Literaturverzeichnis

- [1] ANS: Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen – 20 Jahre Biotonne in Witzenhausen, eine Standortbestimmung. In: 64. Informationsgespräch des ANS e.V.; 8. und 9. Juli 2003 in Witzenhausen
- [2] Aquatyx Wassertechnik GmbH, Produktinformation UASB-IC-Reaktor, 2006
- [3] ASA: Neubewertung der Vorgaben der AbfAbIV zur Qualität des MBA-Deponats – insbesondere des TOC im Eluat. 23. Mai 2006; Download von: <http://www.asa-ev.de>;
- [4] Bandi, A.; Specht, M.: „Gewinnung von Methanol aus Biomasse“; Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg, August 2004
- [5] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Kompostierung von Bioabfällen mit anderen organischen Abfällen. Augsburg, 2003
- [6] BIFA: Biotests mit organischen Extrakten aus Klärschlämmen, Komposten, Gärprodukten und Böden. Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, Oktober 2002
- [7] Boles, E.: „Vom Abfall zum Kunststoff“; Forschung Frankfurt 1/2006, <http://www.muk.uni-frankfurt.de/Publikationen/FFFM/dok/2006/2006-1/58-61-biosprit.pdf#search=%22Goethe-Universit%C3%A4t%20Frankfurt%20Hefe%20Hexosen%20Pentosen%20Ethanol%22>
- [8] Bundesumweltministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Anlage 2 zur Kabinettsache des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom September 2000, S. 84
- [9] Doedens, H.; Gallenkemper, B.; Ketelsen, K.: Einhaltung der Ablagerungskriterien durch MBA-Anlagen – Ergebnisse der ASA-Umfrage. In: Wiemer u. Kern (Hrsg.): Bio- und Sekundärrohstoffverwertung – stofflich, energetisch, 2006, S. 575-584
- [10] Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall) vom 14. Mai 1993 (Beil. BAnz. Nr. 99)
- [11] ecologic: Strategie für die Zukunft der Siedlungsabfallentsorgung (Ziel 2020). FuE-Vorhaben 20132 324 für das Umweltbundesamt im Rahmen des UFOPLAN 2003; Endbericht Mai 2005

- [12] Entscheidung des Rates (2003/33/EG) vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gemäß Artikel 16 und Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG vom 19. Dezember 2002 (ABl. EG 2003 L S. 27)
- [13] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Website; [www.nachwachsende-rohstoffe.de](http://www.nachwachsende-rohstoffe.de)
- [14] Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich in der Fassung vom 21. Juli 2004; veröffentlicht im Bundesgesetzblatt am 31. Juli 2004
- [15] Heering, Markus; Untersuchung und Entwicklung einer dezentralen Anlage zur energetischen Verwertung mechanisch-biologisch stabiler Abfälle, RWTH Aachen, Dissertation 1998, BV 012679231
- [16] Hoffmeyer, P.: Von der Abfallwirtschaft zur Ressourcenwirtschaft – Visionen 2020. Vortrag bei der ANS in Leipzig, 31. Mai bis 02. Juni 2005
- [17] Höhle, B. et. al.: Methanol als Energieträger. Reihe Energietechnik, Band 28, Forschungszentrum Jülich 2003
- [18] Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe: Website: [www.inaro.de](http://www.inaro.de)
- [19] Kamm, B.: Das Konzept der Bioraffinerie. Vortragsmanuskript der UMSICHT Tage 2003 vom 16. Juli 2003
- [20] Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz: verkündet am 6. Oktober 1994 (BGBl. I S. 2705)
- [21] LAGA Merkblatt M10; zuletzt geändert im Februar 1995
- [22] Lehmann Maschinenbau GmbH: Website; [www.lehmann-jocketa.de](http://www.lehmann-jocketa.de)
- [23] Meier, A., et. al.: Nachwachsende Rohstoffe aus Sonnenlicht. Paul Scherrer Institut, Villingen, Schweiz
- [24] Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg: Hohe Kompostqualität ist möglich. Heft 2 der Reihe Boden FE, 1996
- [25] Paques b.v., Produktinformation BIOPAQ -IC-Reaktor, 2006, Website: [www.paques.nl](http://www.paques.nl)
- [26] Patentschrift DE 44 44 745 C1
- [27] Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost. In: Müllhandbuch 5/95, Erich Schmidt Verlag Berlin
- [28] renew - sustainable energy systems for transport: Projekt im Rahmen des 6. europäischen Rahmenprogramms der europäischen Kommission; Website: [www.renew-fuel.com/fs](http://www.renew-fuel.com/fs)
- [29] Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt
- [30] Umweltbundesamt: Bericht zur 'ökologischen Vertretbarkeit' der mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restabfällen einschließlich deren Ablagerung. Berlin 1999
- [31] Umweltbundesamt: Zur einheitlichen Ableitung von Schwermetallgrenzwerten bei Düngemitteln. 31. Juli 2002
- [32] Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 24. Juli 2002, BGBl I 2002, 2807



- [33] Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen vom 20. Februar 2001; Artikel 1: Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (AbfAbIV); Artikel 2: 30. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen – 30.BImSchV)
- [34] Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV) vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), geändert durch Art. 5 Verordnung zur Umsetzung des Europäischen Abfallverzeichnisses vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), durch Art. 3 Verordnung zur Änderung abfallrechtlicher Nachweisbestimmungen vom 25. April 2002 (BGBl. I S. 1488) und durch § 11 Düngemittelverordnung vom 26. November 2003 (BGBl. I S. 2373)
- [35] Verordnung zur Umsetzung der Ratsentscheidung vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfaldeponien; Bundesratsdrucksache 245/1/06; Download von:  
[http://www.bundesrat.de/cln\\_051/nn\\_6906/SharedDocs/Drucksachen/2006/0201-300/245-1-06,templated=raw,property=publicationFile.pdf/245-1-06.pdfcv](http://www.bundesrat.de/cln_051/nn_6906/SharedDocs/Drucksachen/2006/0201-300/245-1-06,templated=raw,property=publicationFile.pdf/245-1-06.pdfcv)