Ferenc Ligetvári, József Tóth

Thermische Beseitigung von bei der Ablagerung riskanten organischen Abfällen mit Energiegewinnung

Heute entstehen im mitteleuropäischen Durchschnitt pro Person jährlich etwa 400-420 kg feste Abfälle und etwa 80 kg Klärschlamm. Ein Teil der festen Abfälle kann abgesondert werden (das ist der kommunale Abfall). Das Abwasser lässt sich nicht so einfach abtrennen, weil die Kläranlage Stoffe aller möglicher Herkunft (auch diejenigen aus gewerblicher Tätigkeit) mit dem Abwasser zusammen behandelt.

Grundkonzept

Sehr große Abweichungen gibt es in den verschiedenen Ländern der Welt. In einzelnen Gebieten erreichte die Verschmutzung von Böden und Gewässern aufgrund von gewerblichen Abfällen (Katastrophen) bzw. der Unbehandeltheit von sonstigen Abfällen ein solches Ausmaß, dass dadurch auch die Lebensfreundlichkeit gefährdet wird, deshalb treten die Umweltschutzaspekte immer mehr in den Vordergrund und darunter erhalten die Bestrebungen zur Behandlung, Verwertung und Beseitigung der Abfälle eine immer wichtigere Rolle. Heute ist überall in der Welt, somit auch im Bereich der EU eine "Bestrebung" im Gange, die mit der Entstehung, Verwertung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen mit der so genannten Abfallpyramide gekennzeichnet wird. Bei der Bestrebung wurden deshalb Anführungsstriche verwendet, weil so sehr auch die Zielsetzungen der Vorbeugung und Minimierung auf die Spitze der Pyramide gesetzt wurden, mindert sich nicht, sondern steigt die Menge des Abfalls an. Es kann auch nicht anders sein. Die Globalisierung, die Konzentration des Handels und überhaupt die Konsumgesellschaft haben mitgebracht, dass – nach einzelnen Aufnahmen – 30 Prozent der Produktionsmitarbeiter indirekt Abfälle herstellt. Und dieser Müll ist halt langlebig.

Bild 1. **Möglichkeiten der Abfallverwertung**

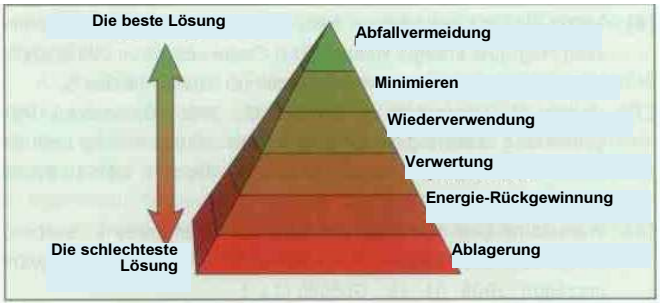
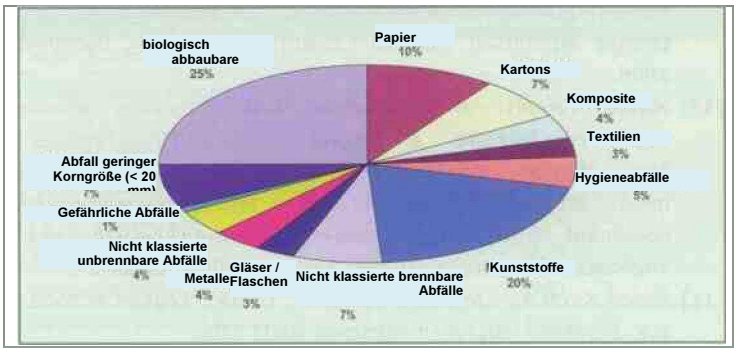


Bild 2. **Mittlere Zusammensetzung der festen kommunalen Abfälle**



Heimische Besonderheiten

Auch in Ungarn ist eine EU-ähnliche Tendenz wahrzunehmen. Den zurzeit betriebenen 700 Kläranlagen werden jährlich 800 Mio. m^3 Abwasser zugeführt. Daraus entsteht nach Klärung und Eindickung eine Klärschlammmenge von etwa 1,4 Mio. t mit einem Trockenstoffgehalt von 20%.

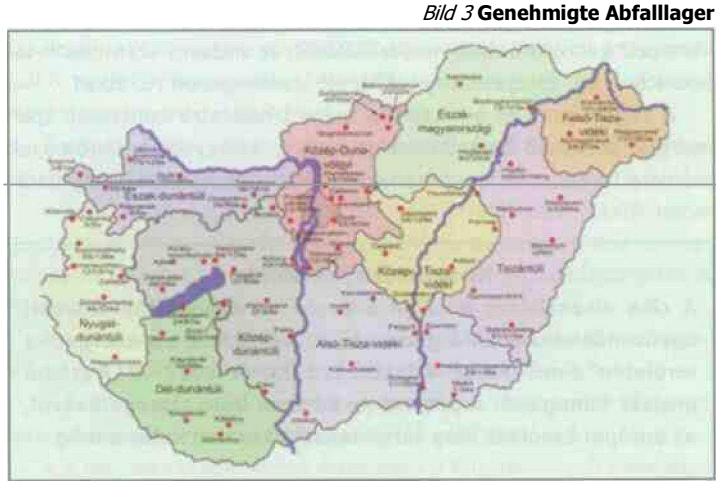
– Die mittlere Zusammensetzung der etwa 4 Mio. t/a
– dokumentierten - festen Siedlungsabfälle wird im Bild 2 dargestellt. Die dargestellten Abfallanteile sind für die genehmigten Abfalllager kennzeichnend, die in letzter Zeit sehr selten geworden sind. Ihre Lage wird im Bild 3 dargestellt.

Das früher angenommene und 2013 bestätigte Abfallwirtschaftskonzept enthält auch dafür eine Bestimmung, in welchem Ausmaß die Menge einzelner Abfälle gesenkt werden muss. Auf Basis der Daten des Zentralen Statistischen Amtes (KSH) wird es mehr oder weniger erfüllt. Die Tendenz ist richtig (Bild 4), jedoch sind die illegal abgelagerten Abfälle gemäß einer Untersuchung in der mittleren ungarischen Region überraschend viel (Bild 5) . Somit ist die Frage berechtigt: weiß doch jemand in Ungarn, wie viele und welche Abfälle in der Tat abgelagert werden, genauer gesagt zerstreut werden, weil die Ablagerung heute ziemlich teuer ist (9000 Ft/t) (Tabelle 1).

Wie sieht die Lage mit dem heimischen Abwasser aus?

Hierbei sind die Daten vielleicht um etwas zuverlässiger, weil man in den Kläranlagen mit den Mengen abrechnen muss. Die Größe der Kläranlagen und ihre aufgenommenen Abwassermengen sind sehr verschieden. Die Größe des Standortes wird mit der täglich entstehenden Klärschlammmenge gekennzeichnet. Das gereinigte Abwasser wird mit wenigen Ausnahmen den natürlichen Gewässern zugeführt (nur stellenweise wird es zur Bewässerung einer Kultur verwendet). Die Zahlen lassen erkennen, dass es insgesamt 60 solche Kläranlagen gibt, wo bewertbare Menge Klärschlamm - mehr als 10 t/Tag – entsteht. Es ist 8,58% aller Standorte, aber hier entstehen 74,24% der gesamten Klärschlammmenge. Der Wirkungsgrad der Reinigung ist in den Kläranlagen geringerer Kapazität niedriger als in den größeren, da hier der Einbau teurer Anlagen nicht möglich ist, die eine vollwertige Reinigung erlauben würden.

Bild 3 **Genehmigte Abfalllager**



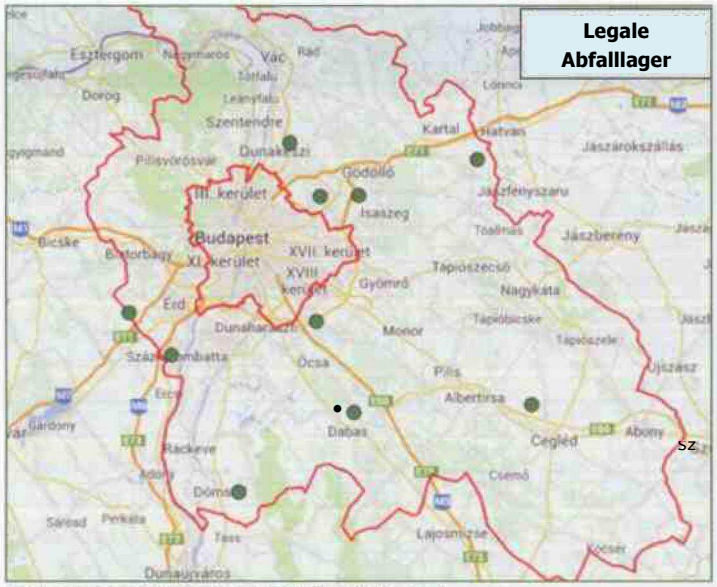


Bild 4: **Genehmigte Abfalllager**

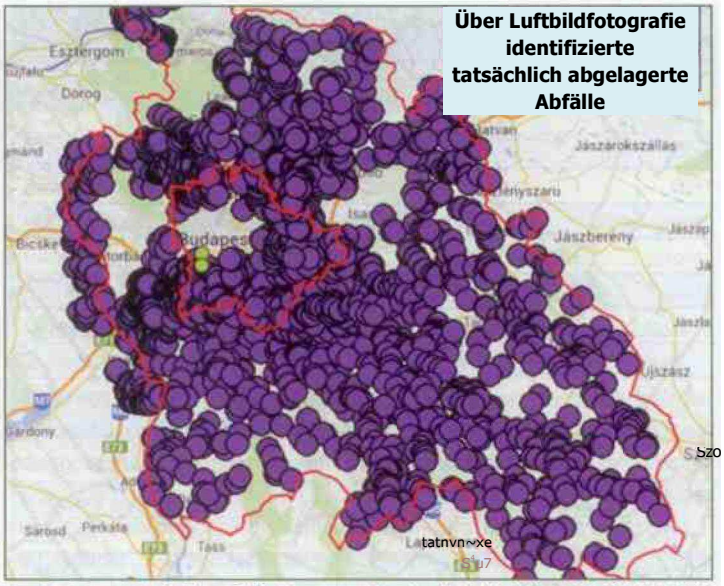


Bild 5. **Tatsächlich abgelagerte Abfälle anhand einer**

Obwohl es aus Umweltaspekten überhaupt nicht gleich ist, ein Wasser mit welchem Reinheitsgrad den natürlichen Gewässern zugeführt oder zur Bewässerung verwendet wird, aber wir wollen uns des Weiteren trotzdem nicht mit dem Wasser, sondern mit dem weiteren Schicksal des bei der Reinigung entstehenden Schlammes bzw. dessen Verwertung beschäftigen. Wir machen es deshalb, weil sich die im Laufe der Reinigung abgeschiedenen und immer noch verbleibenden pathogenen bzw. giftigen Stoffe sowie für den Umweltschutz viele Probleme verursachenden Schwermetalle darin konzentrieren, wobei diese in einer höheren Menge als zugelassen vorkommen. Wir müssen es vorausschicken, dass wir keine genauen Daten über das weitere Schicksal von etwa 400 000 t Klärschlamm haben. In den Kläranlagen, wo die tägliche Schlammmenge unter 10 t/Tag liegt, wird der Schlamm meistens unter dem Schlagwort „landwirtschaftliche Verwertung" irgendwie alle.

Präferenzen in der Abfallwirtschaft

Für die Art und Weise der Verwertung des Klärschlammes enthält das Abfallverwertungsprogramm die folgenden Präferenzen:

- Verrottung (Biogaserzeugung),
- Kompostierung mit der Verwendung des Kompostes zum Ersatz der Bodenfruchtbarkeit bzw. Rekultivierung,
- Verwendung in Zementwerken (Zuschlagstoff),
- In Sonderfällen Energieverbrauch durch Verbrennung,
- nach Vorbehandlung Ablagerung in Abfalllagern

Tabelle 1 **Klärschlamm und Fermentationsrückstand in den bestehenden Kläranlagen (2012)**

Tägliche Schlamm-menge, t	Standort, Stk.	Schlamm gesamt (20%), t/a	Verwertbarer Schlamm, t/a	Fermentations rückstand (35%), t/a
>100	8	537192	159 280	167 593
50-100	7	178 808	62 178	64 930
20-50	20	205 571	139 302	30 326
>10 -<20	27	141 948	141 948	
>5 < 10	58	144 624	144 624	
<5	581	224 359	219 648	
Insgesamt	699	1 432 502	866 979	262 850
Für Biogas verwendet, t/a			**565 523**	
Quelle: Summierung der Einzeldaten der Kläranlagen				

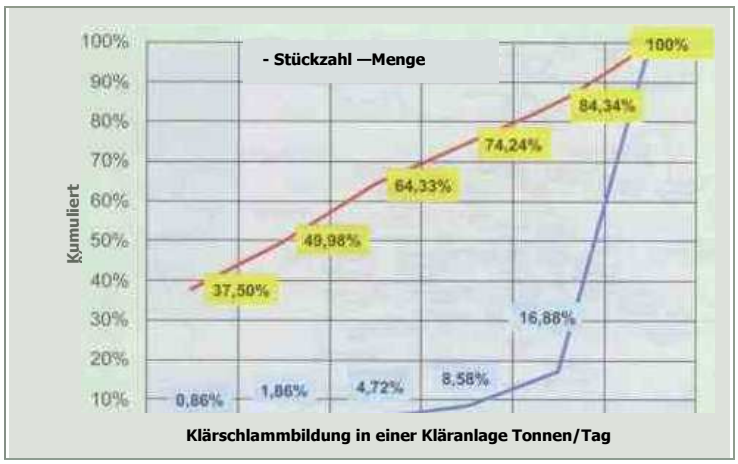
Diese Prioritäten fallen etwa mit den Vorschlägen der EU zusammen. Zurzeit wird - nach den verfügbaren Daten - eine Klärschlammmenge von 565 000 t verrottet. Nach der Verrottung kann - nach unseren Berechnungen - ein Fermentationsrückstand von 263 000 t mit einem Trockenstoffgehalt von 30-35% zurückbleiben. Im Laufe der Anaeroben Konzentration sterben bedeutende Anteile der pathogenen Bakterien ab, jedoch bleiben die Sporen der Sporenbildner in dem Fermentationsrückstand natürlich erhalten, ähnlich zu den Schwermetallen, deren bedeutender Anteil gewerblicher Herkunft ist oder aus sonstigen Produkten (zum Beispiel aus Kosmetikartikeln) in das Abwasser gelangen.

Mit der Verwendung des Klärschlammes in der Landwirtschaft - zum Ersatz der Bodenfruchtbarkeit - sind im Allgemeinen auch die Bodenbiologen einverstanden. Die damit zusammenhängenden Forschungen (meistens Dissertationen) heben die Rolle des N- und P-Ersatzes hervor. Auch die Einwirkung auf das Bodenleben wird positiv bewertet.

In jeder Untersuchung wird die mögliche Gefahr der Anhäufung der Schwermetalle erwähnt. Nach den Vorschriften dürfen in landwirtschaftlichen Bereichen behandelte (biologische, chemische, wärmebehandelte) und mindestens 6 Monate lang gelagerte solche Schlämme verwertet werden, deren Inhalt an Schwermetallen und sonstigen Verunreinigungsstoffen den Vorschriften in der Verordnung entspricht.

Diese Untersuchungen wurden unter solchen Umständen durchgeführt, welche den Vorschriften in allem entsprochen haben.

Bild 6. **Menge des entstehenden Klärschlammes und Anzahl der Kläranlagen abhängig von der „Standortgröße"**



Komponente	Zeichen	Konzentration (mg/kg Trockenstoff)
Blei	Pb	900
Kadmium	Cd	10
Chrom	Cr	900
Kupfer	Cu	84D
Nickel	NI	200
Quecksilber	Hg	8
Zink	Zn	2500

Tabelle 2 **Grenzwerte der Schwermetallkonzentration der Klärschlämme**

Wir sehen das Problem darin, dass das aktuelle Kontrollsystem keine Sicherheit dafür liefert, ob die Klärschlammmenge von über 200 000 tausend Tonnen, die auf den mehr als 500 Stück kleinen Kläranlagen entstehen, nach einer vorschriftsmäßigen Behandlung auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht wird.

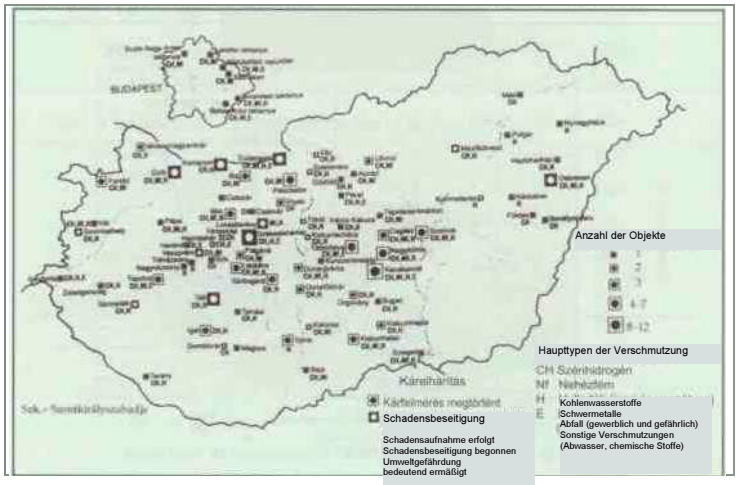
Die im Klärschlamm zugelassene *Schwermetallkonzentration* wird auch in Ungarn durch eine Verordnung bestimmt. Diese Werte sind in Tabelle 2 aufgeführt. (Jedoch schreibt die Verordnung nicht die Häufigkeit der Messung vor.) Sowohl die EU-Empfehlung als auch die heimischen Bestimmungen präferieren die Kompostierung auch schon bei den festen Siedlungsabfällen sehr stark. Über die Kompostierung gibt es sehr genaue Beschreibungen. Der Kompost ist bereits kein Abfall, sondern ein Produkt.

Über den technologischen Prozess wird folgendes geschrieben:

- In der ersten mesophylen Phase der Kompostierung bauen die mesophylen Bakterien (Hefepilze und sonstige Pilze) die Fette, Proteinen und Kohlenhydrate ab.
- In der darauf folgenden thermophylen Phase erreicht die Temperatur auch den 40-50 °C, und die Mehrheit der Bakterien, die in der ersten mesophylen Phase tätig sind, sterben bei dieser Temperatur ab. Ihre Stelle wird durch thermophyle Bakterien begrenzter Anzahl übernommen, die bis 70 °C lebensfähig sind. Bei einer Temperatur von etwa 60-70 °C sterben bereits alle pathogenen Mikroorganismen mit Ausnahme von einigen Sporenbildnern in ein paar Stunden ab.

Hierbei erwähnen wir nur einige der Sporenbildnerbakterien, die auch in einigen Fällen bereits Krankheiten verursacht haben (Bacillus Anthracis, Bacillus Cereus und die Clostridium-Arten). Natürlich bleiben auch die ursprünglich anwesenden Schwermetalle bei der Kompostierung in dem Kompost erhalten, zurzeit beträgt bei der Anwendung eines Klärschlamm-Kompostes die zugelassene ausbringbare Menge 10 Tonnen/Hektar Trockenstoff. Wenn wir annehmen, dass der Schwermetallgehalt in dem Ausgangs-Klärschlamm innerhalb der Grenzwerte lag, können bei einer Menge von 10 t Trockenstoff/ha Blei von 4 kg, Chrom von 3,5 kg, Kupfer von 7,5 kg, Nickel von 1 kg und Quecksilber von 50 g jährlich auf jeden Hektar der Ackerböden ausgebracht werden.

Bild 7: **Bodenverunreinigungen durch Militärobjekte**



Land	Abfall-menge tausend t/a	Verbrennung %	Ablagerung %	Kompos-tierung %	Stoffliche Verwertung, %
Österreich	2800	11	65	18	6
Belgien	3500	54	43	0	3
Schweiz	3700	59	12	7	22
Deutschland	25000	36	46	2	16
Dänemark	2609	48	29	4	19
Spanien	13300	6	65	17	12
Frankreich	20000	42	45	10	3
Griechenland	3150	0	100	0	0
Italien	17500	16	74	7	3
Irland	1100	0	97	0	3
Luxemburg	180	75	22	1	2
Norwegen	2000	21	67	5	7
Niederlande	7 700	35	45	5	15
Portugal	2650	0	85	15	0
Schweden	3200	47	34	3	16
Finnland	2500	2	83	0	15
Vereinigtes	30000	8	90	0	2
Gesamt	140860	23	63	6	8

Tabelle 3. **Verwertung der entstandenen Abfälle**

Was kann denn mit diesen Stoffen passieren? Diese kommen in das Grundwasser oder in die Pflanzen, die wir dann verzehren, die dann letzten Endes wieder in unsere Abwässer, dann erneut auf unsere Ackerböden gelangen können, wodurch der Schwermetallgehalt dieser immer mehr angereichert wird.

Die einzelnen Behörden verhalten sich abhängig vom Typ bzw. chemischer Reaktion auf sehr verschiedene Weise zu den Schwermetallen und dafür liegen für uns ebenfalls keine umfassenden Daten vor, bei welchen Bedingungen und in welchem Ausmaß die einzelnen Pflanzen diese aufnehmen. Auch über die Schwermetallbelastung der Böden liegen für uns keine ausführlichen Daten vor. Die sporadisch – aufgrund irgendwelcher konkreter Ursachen – durchgeführten Untersuchungen haben jedoch auch in Ungarn bereits an mehreren Stellen relevante Schwermetallbelastungen vorgefunden.

Mehrere Arten der Kompostierungstechnologie sind entstanden, wobei verschiedene Mittel verwendet werden. Natürlich kann jede dieser Technologien – sofern auch die erforderliche Menge grüner Abfall dem Klärschlamm beigemengt wird – die vorgeschriebenen Bedingungen erfüllen. Es gibt ausdrücklich auf Kompostierung spezialisierte Firmen, die alle garantieren, dass der mit der eigenen Technologie erstellte Kompost den ungarischen Vorschriften entspricht. Es wird auch nicht bezweifelt, jedoch – unseres Erachtens – bleibt der Klärschlamm-Kompost auch bei Einhaltung der ungarischen Vorschriften nach wie vor eine potentielle Gefahrenquelle. Das Problem ist gerade, dass wir im Falle einer Kompostierung oft nur noch eine oder mehrere mit einer Folie abgedeckte Prismen vorfinden, die bestenfalls von Zeit zu Zeit gewendet werden. Die verschiedenen Sorten der auf dem Markt erhältlichen Kompostprodukte waren nach den Betreibern der Standorte mehrheitlich dann überprüft, als die Qualifizierung dessen als Produkt erfolgt ist.

Wir möchten nicht damit beschuldigt werden, dass wir die Verwendung des Klärschlammes zum Ersatz der Bodenfruchtbarkeit ablehnen. Nur möchten wir sichtbar machen, dass es zurzeit mit Risiken behaftet ist. Hinsichtlich der Voraussetzungen der Anwendung halten wir die entsprechende Kontrolle nicht für gesichert. Und gerade deshalb besteht dann die Gefahr, dass solche Stoffe auf solche Böden oder Pflanzenkulturen ausgebracht werden, mit denen wir einen Bodenschaden, gegebenenfalls durch Verzehren von Pflanzen (oder tierischen Produkten) auch Gesundheitsschädigungen verursachen können. Es kann in vielen Fällen irreversible oder nur mit sehr hohen Aufwendungen korrigierbare Prozesse einleiten.

Land	Anzahl Verbrennungsanlagen	Verbrennungs-kapazität tausend t/a	Anteil Wärmenutzung	
			nach Anzahl der Verbrennungsanlagen, %	nach Verbrennungskapazität, %
Österreich	2	340	100	100
Belgien	24	2240	46	64
Schweiz	30	2840	80	90
Deutschland	49	12020	100	100
Dänemark	30	2310	100	100
Spanien	15	740	27	73
Frankreich	225	11330	42	70
Italien	26	1900	64	76
Luxemburg	1	170	100	100
Norwegen	18	500	28	83
Niederlande	10	3150	90	97
Schweden	21	1860	100	100
Finnland	1	70	100	100
Vereinigtes	31	3670	16	32
Gesamt	485	43140	56	02

Tabelle 4 **Wärmenutzung der Abfallverbrennungsanlagen in Europa**

In der Abfallwirtschaft für wünschenswert gehaltene internationale und heimische Praxis hält die Verwertung der Abfälle zur energetischen Zwecken für fast die schlechteste Methode (siehe die Abfallpyramide). Einzelne Arbeiten halten die Verbrennung des Klärschlamms für Verschwendung und für schlimm wie ein Teufelswerk. Ihre Hauptargumente sind die Emission der Verbrennung (ihren Ansichten nach ist es riesenhaft) und das Dasein der sich anhäufenden Schwermetalle in der Asche. Demgegenüber stehen jedoch einige Länder, wo die Verwendung des Kompostes aus festen Abfällen bzw. aus Klärschlamm in der Landwirtschaft kategorisch verboten wird. Aus der Tabelle 3 geht es hervor, dass die Beseitigung der Abfälle durch Verbrennung in den Ländern von West-Europa überhaupt keine Seltenheit ist. Es ist ja auch noch hinzuzufügen, dass die Energie aus der Verbrennung bis zu einem sehr hohen Maß (82%) verwertet wird (Tabelle 4).

Nach den Plänen wird der Anteil der Wärmenutzung in Europa innerhalb von 5-7 Jahren 100% erreichen und die neuen Anlagen werden ausschließlich mit Wärmenutzung realisiert werden. In mehreren europäischen Großstädten wird die gesamte Abfallmenge als sekundäre Rohstoffe oder Energieträger verwertet und die Ablagerung wird nur noch für die Deponierung der Reste angewendet. In diesen Städten sind mehrere Verbrennungswerke in Betrieb, bspw. in Wien, München, Zürich, Oslo und Hamburg je 2 Stück, in Paris 3 Stück.

Siedlung	Typ Verbrennungswerk				Hinweis (was konkret verbrannt wird)
	Generelles	Kommunal	Gefährliche Materialien	Spezielles	
	Kapazität t/a				
Gesamt	94 458	420 000	82 680	56 650	(Insgesamt: 660 963 t=13%)
Balatonfűzfő	7200				
Beremend	30 000				Zementwerk
Budapest		420 000			
Budapest. XIV	3025				
Budapest, XIX	7000				
Budapest. XIX	6400				
Debrecen			1400		
Dorog			35 000		
Győr			8000		
Kistarcsa	751				
Lábatlan	8000				Zementwerk
Miskolc				12 000	Gummireifen
Oroszlány				700	ölige und farbenbeschmierte feste Abfälle
Pétfürdő				3200	Verbrennung Destillations-rückstände
Sajóbabony	17 600				
Sajóbábony II				40 000	Gummi- und Kunststoff-Abfall
Százhalombatta			26 000		
Szeged				750	Krankenhausabfäll
Szombathely	1480				
Tiszaújváros			7200		
- Tiszavasvári			5080		
Vác	13000				

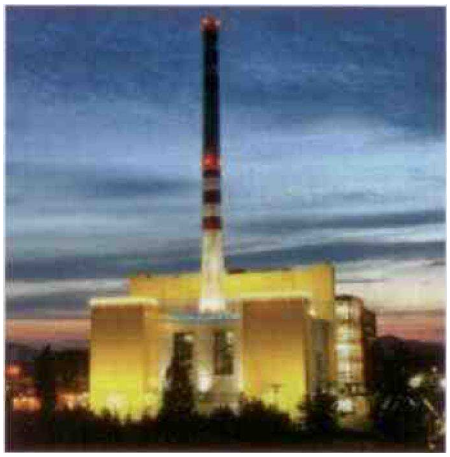
Tabelle 5 **Daten der ungarischen Abfallverbrennungswerke 2013**

Entweder entspricht die Installation nicht oder die Emissionswerte konnten nicht eingehalten werden oder berechtigte Klagen der Bevölkerung gab es aufgrund der Lagerung der zugeförderten Abfälle. Bezüglich der Abfallverbrennungswerke ist heute die Abneigung der Bevölkerung sehr groß. Vielleicht gibt das in dem Lande keine solche Siedlung, wo die pure Erwähnung des Abfallverbrennungswerkes nicht sofort zahlreiche Fragen stellen lassen würde bzw. keine Ängste formuliert würden.

Wie ist die Lage in Ungarn? Eigentlich gibt es eine einzige sehr moderne Hochleistungs-Abfallverbrennungsanlage, in Budapest (Bild 8). Die Kapazität des Verbrennungswerkes ermöglicht die thermische Verwertung von 420 Tt/a kommunalen Abfalls und damit erzeugt es Dampf zur Heizung von 13 Tausend Wohnungen und eine Jahresstrommenge für 45 Tausend Wohnungen. Das Abfallverwertungswerk der Hauptstadt entspricht in sämtlichen Parametern und Emissionswerten sowohl den heimischen Umweltschutzvorschriften als auch denen der EU und erfüllt eine bedeutende Rolle in der energetischen Nutzung des Abfalls. Im Zusammenhang mit dem Betrieb des Verbrennungswerkes sind infolge der guten Organisierung der Zu- und Abförderung sowie der Betriebsführung keine Klagen vorgekommen.

Die Kapazität und Modernisierungsgrad der Abfallverbrennungswerke in der Tabelle 5 bleiben hinter diesen von Budapest weit zurück und fast alle liefern für sehr viele Klagen einen Grund.

Bild 8 **Ansicht des Abfallverbrennungswerkes von Rákospalota**



Es ist ein vorschlagbares, in die Technologie integrierbares thermisches Beseitigungs- und Energieerzeugungssystem.

Unter Berücksichtigung der Abfallmenge in den abgeschlossenen Abfalllagern und die kontinuierlich entstehende neue Abfallmenge sowie die Situation und Möglichkeiten der Kläranlagen sind in Ungarn – obwohl auf mittlere Frist – solche Verbrennungswerke (mit thermischer Beseitigung und energetischer Verwertung) mit einer Kapazität von mindestens eine Million Tonnen pro Jahr unbedingt erforderlich, welche:

- in die Abfallsammlungs- und -Verwertungstechnologie einzubauen sind,
- Vor Ort - aus einer Entfernung von höchstens 25 km - mit Brennstoff zu versorgen sind,
- jedem Emissionsgrenzwert (einschließlich Lärm und auch Geruchswirkung) entsprechen.

Technische Entwicklung bei der BIOMORV Kft.

Das von dieser vorgeschlagene Beseitigungssystem enthält das in den technologischen Prozess integrierte „Beseitigungssubsystem", das:

- fähig ist, organische Substanzen mit hohem Wassergehalt auf einer hohen Temperatur zu verbrennen,
- dadurch die Gefahrenquellen im Stoff sicher beseitigt,
- den Transport ausschließt,
- nicht Energie verbraucht, sondern Energie erzeugt, ausschließlich aus erneuerbaren Quellen, damit trägt es der Emissionssenkung von CO_2 und sonstigen Schadstoffen (Ammoniak, Methan) bei,
- und dabei ist der Prozess geschlossen und schließt somit alle Infektionsgefahren (Beschädigungen) aus.

Zurzeit sind fortgeschrittene Versuchte zur Extraktion des Phosphors aus der Asche im Gange, wodurch weitere bedeutende Erträge möglich sind. Hierbei geht es also nicht nur um ein Mittel, sondern auch um die Einführung eines komplexen Systems. Das Beseitigungsmodul ist auch alleine ein zusammengesetztes System, das aus Komponenten besteht, die aufeinander aufbauen, zueinander in direkten und geregelten Kontakten stehen und mit der Verwendung von mehreren früheren Patenten realisiert wurde.

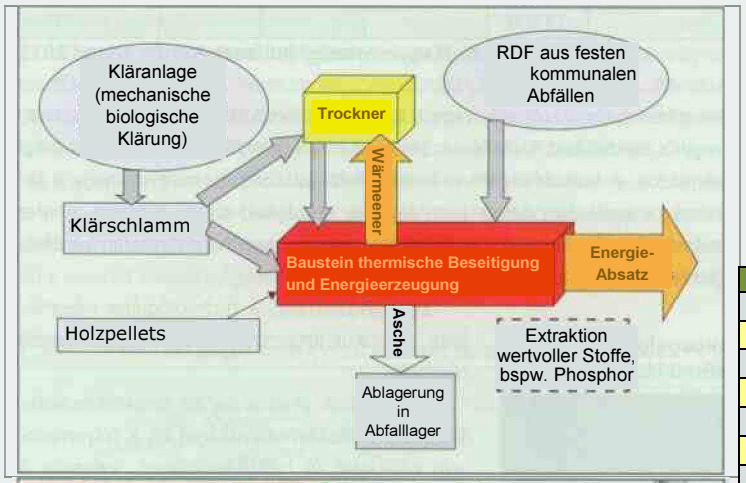
Die Modul-Komponenten sind:

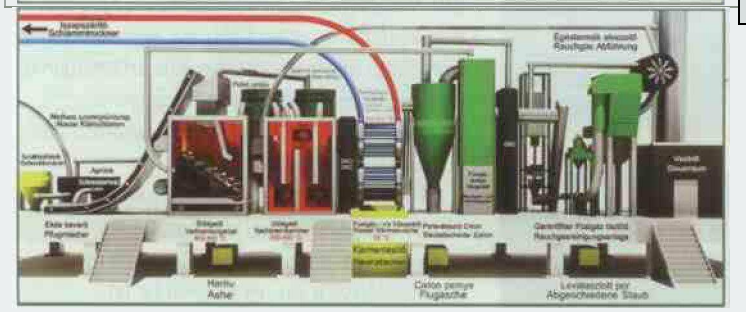
- Mischung und Beschickung vom Brennstoff,
- Verbrennung (Rolltreppenkessel und Nachbrenner),
- Energieübertragung (Wärmetauscher),
- Stromerzeugung (ORC oder Dampferzeuger und Turbine),
- Rauchgasbehandlung (Rauchgaswäscher),
- Überwachungs- und Steuersystem des kontinuierlichen Betriebs,

Alle Teilkomponenten werden in einem Block untergebracht. Das ungestörte Zusammenwirken der Teilkomponenten wird durch die Zentralsteuerung gesichert. Der Material- und Energiefluss ist geschlossen und auch die Weiterleitung des Materials erfolgt automatisch. Dank dem speziellen Aufbau der Verbrennungsanlage ist diese fähig, ein Materialgemisch mit einem Trockenstoffgehalt von bereits 45 % und einem auf Trockenstoff bezogenen Heizwert von 11 MJ/kg zu verbrennen, so dass währenddessen die Vorschriften für die Verbrennungstemperatur der Abfälle (800 °C ständig und Nachverbrennung 2 sec. lang bei 950°C) restlos erfüllt werden und welche mit Anwendung einer speziellen Rauchgaswäscher-Anlage auch die strengsten Emissionsgrenzwerte einhalten kann.

Bild . **Das vorgeschlagene thermische Beseitigungs- und Energieerzeugungssystem**

Bild 1. **Komponenten und Kontakte des Beseitigungssystems**





Hinsichtlich der Zusammensetzung des Brennstoffs ist das System flexibel. Grundsätzlich wird damit gerechnet, dass der Brennstoff aus einer Mischung der folgenden Komponenten bestehen kann.

- Rohklärschlamm 20% Trockenstoff (21 MJ/kg),
- Trockenklärschlamm 95% Trockenstoff (17 MJ/kg),
- aus festen kommunalen Abfällen (RDF) 70% Trockenstoff (12 MJ/kg),
- RDF getrocknet 95% Trockenstoff (12 MJ/kg),
- Fermentationsrückstand von Biogas 35% Trockenstoff (10 MJ/kg),
- Fermentationsrückstand getrocknet 95% Trockenstoff (10 MJ/kg),

In der Auflistung haben wir den mittleren Trockenstoffgehalt und den auf den Trockenstoff bezogenen Heizwert der infrage kommenden Brennstoffe mitgeteilt. (Abhängig von den Gegebenheiten ist es möglich, die Höhe der Austrocknung auch abweichend wie angegeben zu gestalten. Wesentlich ist jedoch, dass der Trockenstoffgehalt der gesamten Heizstoffmischung 45 % erreicht.) Abhängig von der tatsächlichen Brennstoffzusammensetzung verändert sich die in der gegebenen Zeit zu verbrennende gesamte Masse anteilig mit dem Wassergehalt der Mischung. An der Ressourcenseite kann der anderweitig nicht verwertbare brennbare Anteil des Klärschlammes und der festen kommunalen Abfälle, aber auch der Fermentationsrückstand der Biogasbetriebe infrage kommen.

Abhängig von dem verfügbaren – bzw. zu beseitigenden – Brennstoff kann das System geeignet sein:

- zur thermischen Beseitigung der gesamten Klärschlammmenge oder nach der Verrottung zurückbleibenden Fermentationsrückstandes einer Großstadt bzw. zur Verwertung der enthaltenen Energie,
- in einer Kleinstadt für die thermische Beseitigung des entstehenden Klärschlammes und der festen bzw. organischen brennbaren kommunalen Abfälle,
- mit Zulieferung aus dem direkten Umkreis – innerhalb von 25 km – zur Entsorgung von Klärschlamm und der verbrennbaren festen kommunalen Abfälle.

Abhängig von der Größe, Beschaffenheit und Lebensführung der Bevölkerung entstehen abweichende Mengen flüssiger und fester Abfälle. Es wird angestrebt, ein Teil dieser in einer Form zu verwerten. Eine Form der Verwertung ist die Verbrennung, die dabei, dass die vollständigste Beseitigung ist, auch noch Energie erzeugt. Abhängig von den Gegebenheiten sind die kennzeichnendsten Grundtypen der Verwertung die folgenden:

1. Ausschließlich Klärschlamm wird verbrannt. In diesem Fall müssen wir den rohen und getrockneten Schlamm in einem Anteil von 60:40 vermengen, damit die Bedingungen einer kontinuierlichen Verbrennung sicherzustellen sind. Die gesamte rohe Klärschlammmenge für den kontinuierlichen Betrieb beträgt 20 600 t/a So viel Klärschlamm bildet sich in einer Stadt mit ca. 170.000 Bewohnern.
2. Wir verbrennen ein Gemisch aus Rohklärschlamm und verbrennbarem festem kommunalem Abfall (RDF). Es kommt offensichtlich dort infrage, wo in der Abfallsortierung die RDF-Technologie Anwendung findet. Voraussichtlich entsteht doppelt so viel RDF als Klärschlamm. Zur Verbrennbarkeit muss ein Klärschlamm-RDF-Anteil von 40:60 vorliegen. Von diesem Gemisch wird zu einem kontinuierlichen Betrieb eine Masse von 12 192 t/Jahr erforderlich, die annähernd in einer Stadt mit 41.000 Bewohnern aus dem Klärschlamm und RDF entsteht.

Tabelle 9 **Energiebilanz (für 1 Betriebsstunde)**

Heizstoff	kg/h	MJ/kg	Gesamt MJ	Inputenergie %
Holzpellets	30	15,3	459	8,53%
Hackgut	20	10.5	210	
Mit Heizstoff zugeführte Nettoenergie MJ			7177	91,47%
Inputenergie gesamt			7846	
Outputenergieleistung des Kessels MJ			7200	91,76%
Strom kWh			600	27,53%
Nutzbare Wärme MJ			4680	59,64%

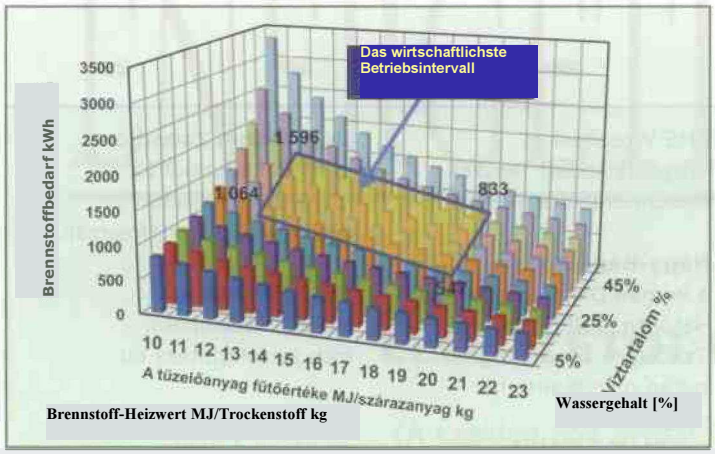


Bild 11. **Brennstoffbedarf eines Kessels mit einer Outputleistung von 2 MW und einem Grundverlust von 6% abhängig vom Heizwert und Wassergehalt des Brennstoffs**

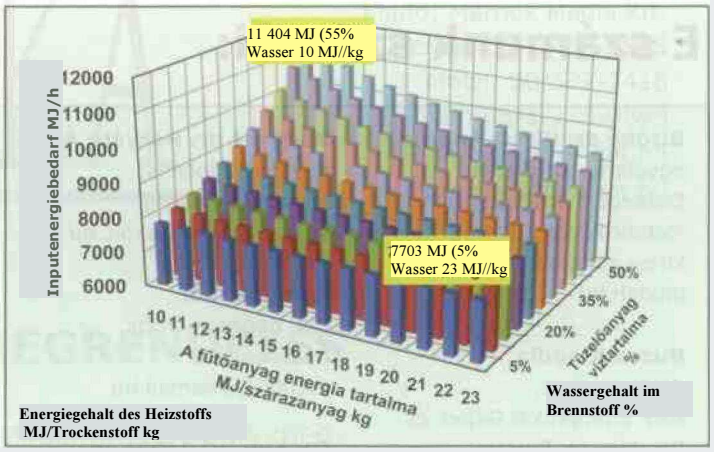


Bild 12. **Änderung des Inputenergiebedarfs eines Kessels mit einer Outputleistung von 2 MW und einem Grundverlust von 6% abhängig vom Heizwert und Wassergehalt des Brennstoffs**

3. Das Gemisch aus rohen und getrockneten Fermentationsrückständen wird verbrannt. Eine Relevanz hat es dort, wo der Klärschlamm in seiner gesamten Menge im Biogasbetrieb verarbeitet wird. Die Verbrennbarkeitsbedingungen sind bei einem Verhältnis von rohen (dekantierten) und getrockneten Fermentationsrückständen von 60:40% bereits sicherzustellen. In diesem Fall wäre eine Gesamtmenge von 22 771 t/a erforderlich. Unter Berücksichtigung dessen, dass sich die Trockenstoffmasse in dem Substrat bei der Verrottung um etwa 20-24% mindert (abhängig davon, wie vollständig die Gasausbeute ist), bedarf es einer Mindest-Klärschlammmenge von 30.000 Tonnen/Jahr. Solche Menge Klärschlamm kann in einer Stadt mit 250.000 Bewohnern entstehen.

Aus den Versionen kommt hervor, dass die Menge des verbrennbaren Stoffes durch dessen Zusammensetzung bestimmt wird. Es ist also zweckmäßig, die Planung mit der mengenmäßigen Aufnahme der zu beseitigenden Stoffe zu beginnen. Es ist eine Erwartung gegenüber dem System, mindestens 8000 h in einem Jahr kontinuierlich in Betrieb sein zu können und bei einer Output-Wärmeleistung von 2 MW fähig zu sein, 6 - 20.000 t risikovoller Abfälle auf sichere Weise zu beseitigen.

Die Energiebilanz des Systems ist in jeder Version günstig, da das vorrangige Ziel die Beseitigung von riskanten Abfällen ist.

Während des Betriebs ist nur noch eine Zusatzenergie für die Aufheizung der Verbrennungsanlage bzw. der Sicherstellung der Stützwärme einzubringen. Die Stützwärme wird mit Holzpellets (30 kg/h) sichergestellt, darüber hinaus wird in Höhe von 20 kg/h dem zu beseitigenden Abfall Hackschnitzel beigemischt, um das „Anbacken" zu verhindern. Während des Betriebs verändert sich das Output-/Inputenergie-Verhältnis abhängig von dem tatsächlichen Wassergehalt des Stoffgemisches (das Wasser im Gemisch muss verdampft werden). Je höher der Wassergehalt (und dessen Heizwert niedriger) ist, umso mehr Inputenergie muss zugeführt werden, damit eine entsprechende Energie (2 MW) aus dem System zu gewinnen ist (s. Bild 12).

Unter Berücksichtigung dieser verläuft die tatsächliche Energiebilanz des Systems bei Annahme eines Gemisches von z. B . 40 % rohem Klärschlamm (20 % Trockenstoff) und 60 % RDF (70 % Trockenstoff) gemäß der Tabelle 9.

Offensichtlich stellt sich auch die Frage, wie sich diese Tätigkeit aus finanziellen Aspekten darstellt. Der verkaufbare (oder verbrauchbare) elektrische Strom bedeutet einen direkten Erlös. In unserem Fall ist es der „grüne Strom", dessen Abnahmepreis 30,6 Ft/kWh beträgt. Wir gehen davon aus, dass der bestehende Preis der Abfallablagerung 9000 Ft/t beträgt.

Bezeichnung	(Ft/a)
Stromerlös	146 880
Erlös aus Wärmeverkauf	37 440
Einsparung Abfallablagerungsgebühr	105 489
Aus CO_2-Emissionssenkung	11 808
Gesamt	301 617
Kosten	89 175
Deckungsbetrag	**212 443**

Tabelle 10. **Erlös-Kosten-Deckung**

Die Einsparung sind die verbrannte Abfallmenge und die Menge der Asche als Verbrennungsrückstand (die Asche wird nämlich zum Abfalllager gefördert). Darüber hinaus bedeuten der grüne Strom und die mit der erneuerbaren Energie erzeugte Wärme eine Senkung des CO2-Ausstoßes (vorherige 0,93 t/MWh, letztere 53 t/TJ). Aktueller Preis der CO_2 -Zertifikate: 5 €/t.

Eine Ausgabe bedeuten die zu kaufenden Pellets und das Hackgut, die Instandhaltung, die Arbeitslöhne, die örtlichen Steuern und sonstige Materialkosten sowie die Verwaltung. Unter Berücksichtigung dieser verläuft der Deckungsbetrag gemäß Tabelle 10. Es ist ersichtlich, dass die Anwendung des Systems auch aus finanziellen Aspekten rentabel ist. Es lohnt sich, diesen Betrag zu dem Nutzen zu vergleichen, der aus der Verwendung dieser Abfälle zum Ersatz der Bodenfruchtbarkeit – mit einem heute genau nicht bekannten Risiko – resultieren kann.

Die Anwendung des thermischen Systems, das durch die Biomorv zur Beseitigung der riskanten Abfälle entwickelt worden ist, hat nachstehende Vorteile:

- sämtliche mit Umweltrisiken behaftete Schadstoffe in dem Abfall werden mit Sicherheit vernichtet,
- dadurch, dass das System in die auch ansonsten angewendete Technologie zu integrieren ist, beseitigt die Gefahren durch die Bewegung der riskanten organischen Stoffe bzw. die Aufwendungen und die Beeinträchtigungen (Inflationsgefahr, Transport, Geruch, Lärm),
- das System erzeugt bedeutende Menge (grüne) Energie,
- aus finanziellen Aspekten ist die Anwendung des Systems rentabel.

Das entwickelte System hat bereits alle möglichen Kontrollen erfahren, es hat eine Betriebsgenehmigung und ist zu betriebsmäßiger Tätigkeit fähig. Praktisch ist es vom Container-Aufbau und einfach zu installieren. Flächenbedarf 1000 m^2. Die Anschlusspunkte an die angewendeten Technologien sind ausgebaut.

Mit dem Anstieg des Bevölkerungsverbrauchs wird auch die Abfallmenge steigen. Wir glauben, dass der Schutz unserer Naturumwelt im kommenden Zeitraum an noch höherer Bedeutung gewinnen wird als bisher. In diesem Interesse ist ein solches zuverlässiges Beseitigungssystem unbedingt notwendig, das die riskanten Abfälle wirtschaftlich und ohne Beschädigung der Umwelt verwerten kann.

Literatur

(1) http://webmap.viamap.hu/emla/
[2] János Tamás, Universität Debrecen, Lehrstuhl Umweltwirtschaft
[3] Tibor Kovács Szili, Forschungsinstitut der Ungarischen Akademie der Wissenschaften für Bodenkunde und Agrochemie, Budapest, 2010
[4] http://mek.oszk, hu/02100/02185/html/160.html
[5] http://hulladekonline.hu/files/37
[6] http://komposztalas.lap.hu/komposztalo_cegek/23553571
[7] Thermische Behandlung von festen kommunalen Abfällen Publikation des Ministeriums für Umweltschutz und Wasserwesen, Hauptabteilung Abfallwirtschaft und Technologie (2009)