

# Die Deponie ein Bioreaktor – Moderne Deponiebewirtschaftung durch Sickerwasserrückführung

Dieter Kress

Abfallbeseitigungsverband Ansbach

## 1 Biochemische Abbauprozesse im Deponiekörper und ihr Gefährdungspotential

Deponien sind potentielle Emissionsquellen für umweltgefährdende Stoffe, die über den Gas- und Sickerwasserpfad den Müllkörper verlassen. Hauptursache dieser Emissionen ist der Abbau des eingelagerten organischen Müllanteils im Deponiekörper unter Ablauf vielfältiger biochemischer Reaktionen und Abbauprozesse.

*(ca. 30 % der weltweiten Methangasemission werden durch die Mülldeponien erzeugt. Eine Mülldeponie mit einer Einlagerungskapazität von ca. 1.000.000 m<sup>3</sup> Müll kann ca. 3.500.000 Nm<sup>3</sup> Deponiegas pro Jahr erzeugen, das entspricht der Emission einer Rinderherde mit ca. 6.000 GE)*

Seit Anfang der 90 er Jahre schreibt die Gesetzgebung Anforderungen für die Abfallvorbehandlung vor, um diese Emissionen sowie Nachsorgemaßnahmen zu minimieren bzw. zu vermeiden (TASI 1993 und Deponieverordnung 2002).

Derzeit gibt es allerdings - allein in Deutschland über 400 Altdeponien - in denen vorwiegend unbehandelte Abfälle mit einem sehr hohen Anteil organischen Materials deponiert wurden, über deren Abbau-, Emissionsverhalten und über das noch vorhandene Reaktionspotential nur wenige Daten vorliegen. Entsprechend problematisch gestaltet sich demzufolge das Risikomanagement und der notwendige Kostenaufwand für den Betreiber. Eine wichtige Frage ist daher die Abschätzung des Restemissionspotentials und die Beurteilung der vorhandenen Milieubedingungen solcher Deponien.

Es ist ein falscher Schluss eines Deponiebetreibers wenn, nachdem er seine Deponie temporär bzw. endgültig abgedeckt hat, sich nach ca. einem Jahr ein wesentlicher Rückgang der Gas- und Sickerwasseremission eingestellt hat, dass der organische Umsetzungsprozess abgeschlossen ist und eine annähernde Inertisierung sich eingestellt hat. Die Deponie somit aus der Nachsorge genommen werden kann und keine weiteren Kostenansätze mehr berücksichtigt werden müssen.

Vom Lehrstuhl für Bodenkunde der TU München, Freising-Weihenstephan, (Leitung Herr Dr. Bäuml) wurden zur Erforschung des Deponieverhaltens in den Jahren 1997, Praxistagung Deponie 2005 [www.wasteconsult.de](http://www.wasteconsult.de)

2000 und 2001 umfangreiche Probenahmen, Müllanalysen und labortechnische Gärversuche auf der Deponie "Im Dienstfeld" durchgeführt. (siehe hierzu Anlage 1, 3, 4, 5)

Dieses Forschungsvorhaben ist in den Bayerischen Forschungsverbund Abfallforschung und Reststoffverwertung (BayFORREST) eingebunden und wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen beauftragt und gefördert.

Resümee des Forschungsvorhabens:

*"Zusammenfassend zeigen die bisherigen Ergebnisse, dass die organischen Müllbestandteile der Deponie "Im Dienstfeld" bisher nur geringfügig umgesetzt worden sind, so dass im untersuchten Deponiekörper sowie bei Altdeponien mit ähnlichen Standortbedingungen auch bei einer Ablagerungsdauer von mehr als 20 Jahren von einem hohen Restemissions- und Energiegewinnungspotential ausgegangen werden muss."*

Untersuchungen von Institut für Bioverfahrenstechnik TU Braunschweig Prof. Dr. Ing. Dietmar C. Hempel bestätigen die Erkenntnisse des Einflusses des Wassergehaltes auf den biochemischen Umsetzungsprozess.

Demzufolge ist der optimale Wassergehalt für die enzymatische Hydrolyse von hochmolekularen organischen Verbindungen bei 65 Gew.-%, unter 20 Gew.-% Wassergehalt finden keine signifikanten enzymatische Aktivitäten mehr statt. Im Durchschnitt liegen die Wassergehalte bei ca. 30 Gew.-%.

Ausgehend vom Versuchsmodell kann gefolgert werden, dass mit steigendem Wassergehalt auch die Geschwindigkeit der Methangasbildung ansteigt, die maximale Methanbildung jedoch unverändert bleibt. Des Weiteren wird angenommen, dass die Konzentration der organischen Verbindungen im Abfall bei unterschiedlichen Wassergehalten jeweils gleich bleibt. Mit diesen Annahmen für die Methanbildung und der Berücksichtigung, dass die Methanbildung durch zwei verschiedene Bakterienspezies erfolgt, ist eine dynamische Simulation der spezifischen Methanbildung geführt worden.

**Somit spielt der Wassergehalt für die Verkürzung der Nachsorgephase eine entscheidende Rolle.**

Wie vorstehende Ausführungen darstellen, schlummern in einer Deponie nicht nur Gefährdungspotentiale aus dem Bereich der organischen Ablagerungen sondern auch nicht unerhebliche Energiepotentiale. Bei entsprechender technischer Umsetzung unter dem Begriff "**Deponiebewirtschaftung**" führen sie einerseits zu einer

- **Senkung der Gefährdung im Bereich der Emissionen  
Deponiegas ↔ Deponiesickerwasser**

und andererseits zu einer

- **Wirtschaftlichen Nutzung und Verwertung der Emissionsquellen Deponiegas ↔ Deponiesickerwasser.**

Für die weitere Diskussion des Themas "Deponiebewirtschaftung" wurde sich auf den Bereich möglichst optimierten Steigerung des Wassergehalts des Müllkörpers und der technischen Ausführungsformen zur Sickerwasserreinfiltration und deren Effekte bezogen.

Da feststellbar ist, dass bei vielen Deponiestandorten

- **Deponiegasnutzungsanlagen nicht mehr kostendeckend betrieben werden können,**

da durch umfangreiche endgültige bzw. temporäre Abdeckungsmaßnahmen der Eintrag von Feuchtigkeit unterbunden wurde.

## **2 Darstellung der vorhandenen und der optimalen Milieubedingungen des Müllberges**

Die vorliegenden Tabellenblätter zeigen 4 Erkundungsbohrungen aus dem Jahr 1997 und 6 Bohrungen aus dem Jahr 2000. Die Standorte der 2000-ter Bohrungen wurden so gewählt, dass sie möglichst in der Nähe der Erstbohrungen zu liegen kamen und somit nahezu die gleichen Müllablagerungsbereiche erfassten.

An Hand der beiliegenden Datenblätter und den Deponieaufzeichnungen ergeben sich folgende wissenschaftlich bekannten und belegten Zusammenhänge.

Wie aus den Tabellen 1 und 2 erkennbar ist, hat sich der Wassergehalt der Deponie durch die durchgeführten temporären Abdeckungsmaßnahmen in der Zeit von 1997 bis 2000 wesentlich verändert (Gesamtmittelwert des Wassergehalts 1997 40,5 % im Jahr 2000 lediglich noch 19,9 %). Gleichzeitig reduzierte sich die Müllkörpertemperatur (Gesamtmittelwert der Temperatur 1997 32,6 °C im Jahr 2000 nur noch 25 °C). Hieraus ist erkennbar, dass der biochemische Abbauprozess sich stetig reduziert. Dies zeigt sich dann mit einer gewissen Verzögerung bei der Deponiegas- und Energiebilanz.

Hierzu die Aussage des Forschungsvorhabens der TU München:

*"Im Deponiekörper ist der Wassergehalt von entscheidender Bedeutung für mikrobielle Abbauprozesse. Das Optimum für Methanogenese wird bei 50 - 60 % erreicht. Im Problematerial lagen die Wassergehalte zwischen 6 % und 42 % unabhängig von Alter und Tiefe der Ablagerungen. Unabhängig davon ist der Wassergehalt bei einem Mittelwert*

*von 24 +/- 8 % ein permanent limitierender Faktor bei der Umsetzung der organischen Abfallprodukte im untersuchten Deponiekörper."*

### **3 Rechtliche Würdigung und Ziel der kontrollierten Befuchtung und Bewässerung des Deponiereaktors**

Wie die Aussagen vorstehender Untersuchungsergebnisse darstellen und wie die Praxis stetig dokumentiert, ist der Feuchtigkeitseintrag der wesentliche Parameter eines funktionierenden Deponiereaktors.

Die **Deponieverordnung vom 01.08.2002** hat dieses Problem erkannt und befürwortet die Sickerwasserinfiltration zur Einstellung des optimalen Wassergehaltes und somit zur Förderung des biochemischen Abbauprozesses.

Ziel der kontrollierten Deponiebefeuchtung ist:

- Stabilisierung und Steigerung des biochemischen Umsetzungsprozesses, somit keine Unterbrechung der Reaktionsprozesse durch zu geringem Wassergehalt und Austrocknung der Ablagerungen.
- Keine Mumifizierung des Müllbergs und somit keine Verlagerung der Outputproblemzone (Deponiegas - Sickerwasser) auf nachfolgende Generationen.
- Größt mögliche Abarbeitung der eingelagerten Organik im Sinne einer wirtschaftlichen Betriebsführung (Deponiebewirtschaftung).
- Wirtschaftlicher Betrieb der ausgebauten aktiven Deponiegasfassung- und -nutzungsanlagen. Optimale Nutzung der vorhandenen Betriebsmittel (Maschinen + Personal)
- Forcierung des biochemischen Umwandlungsprozesses sorgt für die Stabilisierung der abgelagerten Abfälle. Dies führt nachhaltig zur Reduzierung des Emissions- und Gefährdungspotentials der Deponie und verkürzt die Nachsorgephase.
- Reduzierung des Risikos einer erneuten Schadstoffmobilisierung. Was abgebaut ist kann nicht mehr aktiviert werden!
- Die aktive Vorhaltung der Betriebsmittel kann sich auf eine kürzere Nachsorgezeit konzentrieren; eventuelle kostenintensive Sanierungsmassnahmen können vermieden werden.

### **4 Randbedingungen die eine Bewässerung des Bioreaktors zu erfüllen hat:**

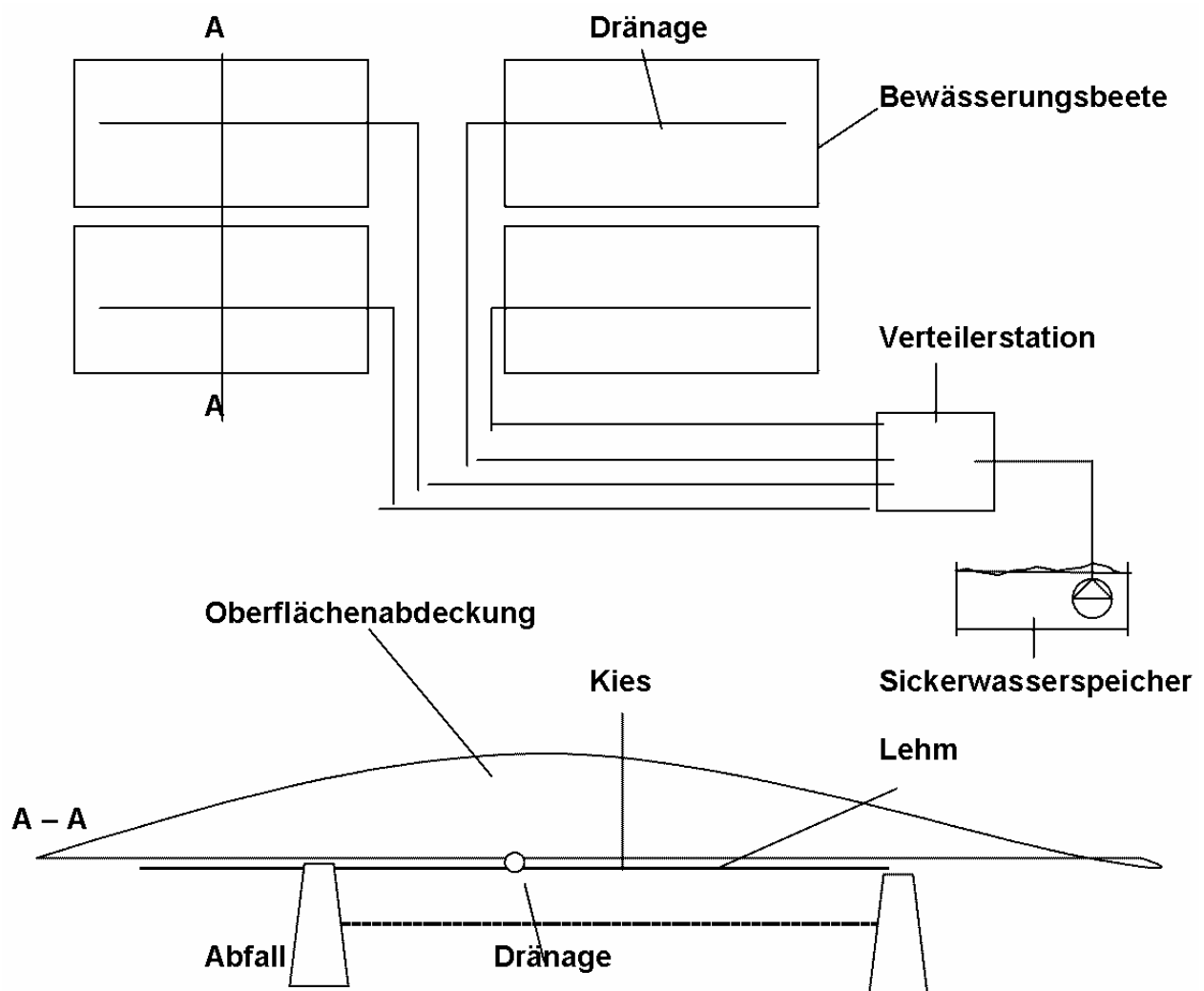
- Sie muss genehmigungsfähig sein,
- die Verteilung einer ausreichenden Wassermenge muss partiell steuerbar und dokumentierbar sein

- die Wässer müssen großflächig, gleichmäßig, möglichst setzungsunempfindlich und druckfrei in den Deponiekörper eindringen können.
- Die Infiltration darf zu keinen lokalen Vernässungen führen

Die Einhaltung all dieser Randbedingungen sind bei herkömmlichen Verfahren (Lanzen-, Gruben-, Grabentechnik, usw.) nur beschränkt gewährleistet. Das auf der Deponie "Im Dienstfeld" entwickelt, gebaute und patentierte Verfahren erfüllt die oben genannten Randbedingungen.

## 5 Technische Umsetzung (Schematische Darstellung)

Sickerwasser wird kontrolliert aus den Speicherbecken entnommen und mit Druck über ein Verteilersystem gezielt und mengengerecht den Bewässerungsbeeten zugeführt. Hier entsteht im Kornporenanteil des Kieskoffers ein freier Wasserspiegel, der durch entsprechende Dosierung eingestellt werden kann. Dann hat das Wasser Zeit, flächig und druckfrei in den Müllkörper einzudringen.



## 6 Vorteile des flächigen Infiltrationssystems

- Das Reinfiltrationssystem ist schon in der Betriebsphase der Deponie umsetzbar.
- Einfache kostengünstige Systembauweise; lässt sich auch bei bereits abgedeckten Deponien nachrüsten.
- Das Verfahren bringt im Zuge von temporären Abdeckungsmaßnahmen für den Betreiber enorme Kosteneinsparungen im Bereich der Sickerwasserentsorgung.
- Ausreichend große Wassermengen können großflächig verteilt werden.
- Es erfolgt eine flächendeckende Benetzung der Deponieoberfläche. Die darunterliegenden Müllschüttungen werden gleichmäßig bewässert.
- Die beetumgreifenden Lehmtrennwälle ermöglichen einen terrassierten Ausbau. Das Wasser kann partiell steuerbar und individuell dosierbar infiltriert werden.
- Die beaufschlagten Wassermengen können wie ein Landregen flächig und druckfrei eindringen.
- Das Verfahren beschleunigt den biochemischen Abbauprozess und sorgt für die Stabilisierung der abgelagerten Abfälle. Dies führt nachhaltig zu einer Reduzierung des Emissions- und Gefährdungspotentials der Deponie und verkürzt die Nachsorgephase.
- Das Verfahren steigert signifikant die Gasproduktion (Bioreaktor) und somit die technische Verwertung des Deponiegases. Das die Ozonschicht zerstörende Methangas wird umweltschonend verwertet.
- Die Versickerungsbeete sind in der Verteilerstation durch einen Bypassanschluss zusätzlich ans aktive Gasfassungssystem angeschlossen. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit einer regelmäßigen Gasanalyse. Das bedeutet: ein "Feedback" bezüglich der Gasaktivität im Beet.
- Das flächige Infiltrationssystem kann nach Abklingen der Hauptemissionen, durch den Anschluss an ein aktives bzw. passives Entgasungssystem zur flächendeckenden Ableitung der Oberflächenemissionen verwendet werden. Somit Einsparung der geforderten gaswegsam Schicht bei der Endabdeckung. D.h. Kostenreduzierung bei der Endabdeckung

## 7 Theoretischer Wasserbedarf des Deponiekörpers

Wie schon die Untersuchungen der TU-München gezeigt haben, sind die Müllschüttungen in ihrem Wassergehalt innerhalb einer Deponie sehr unterschiedlich. Eine Berechnungsformel nach der jeder Deponiestandort bemessen werden könnte ist sicherlich nicht vorzugeben. Vielmehr muss mit einer pragmatischen Vorgehensweise der Müllberg mit Wasser befeuchtet werden. Der Leitparameter der Infiltrationsleistung wird sicherlich die Deponiegasentstehungsrate sein bzw. der Sickerwasserabfluss.

### **Ermittlung der theoretischen Infiltrationskapazität bzw. Wasserbedarfs**

- Ausgebaute Infiltrationsfläche	16.000 m <sup>2</sup>
- Mülleinbauhöhe	i.M. 25 m
- Erschlossenes Müllvolumen (ohne seitliche Ausbreitung)	400.000 m <sup>3</sup>
- derzeitiger vorhandener mittlerer Wassergehalt	< 25 %
- optimaler Wassergehalt für die Methanogenese	> 50 %
- Wassergehaltsdefizit	> 25 %

Eine Erhöhung des Wassergehalts pro m<sup>3</sup> Müll um > 25 % erfordert eine Anreicherung mit

ca. 0,25 m<sup>3</sup> Wasser/m<sup>3</sup> erschlossenen Müll.

D.h.: Das erschlossene Müllvolumen hat eine theoretische Infiltrationskapazität

(Wasserbedarf)

von

$$400.000 \text{ m}^3 * 0,25 \text{ m}^3 = 100.000 \text{ m}^3 \text{ Wasser.}$$

## **8 Umwelttechnische und Betriebswirtschaftliche Betrachtung**

### **8.1 Umwelttechnische Betrachtung**

Im Zuge des biochemischen Umsetzungsprozesses erfolgt durch enzymatische Hydrolyse und Methanoxidation eine systematische Abreinigung des reinfiltrierte Sickerwassers im Bereich der organischen Belastung. Somit Ausnützung der biochemischen Reinigungsvorgänge des Bioreaktors vgl. mit dem Faulturm einer Kläranlage.

### **8.2 Betriebswirtschaftliche Betrachtung**

Rechnet man diesen ungeheuren Wasserbedarf einer Deponie mit den Sickerwasserreinigungskosten pro m<sup>3</sup> Sickerwasser (im Bundesmittel sicher bei 30 - 40 €) hoch, so ist zu erkennen, dass einerseits ein sehr hoher Anteil des Haushalts hierfür ausgegeben werden muss, obwohl diese Sickerwassermengen zurückgeführt in den Müllberg sehr

von Nöten wären. Noch nicht berücksichtigt in dieser Rechnung ist der stetige Wasserverbrauch durch den biochemischen Umsetzungsprozess. Darüber hinaus stabilisiert sich die Deponiegasfassung und Verwertung und führt zu einer wirtschaftlichen Betriebsführung der Aktiventgasungsanlage.

## 9 Zusammenfassung

**A:** Wie die Tabelle mit dem Wassergehalt aus dem Jahr 1997 aufzeigt, war die Deponie mit einem **durchschnittlichen Wassergehalt von ca. 40.5 %** durch die Eigenfeuchte des angelieferten Mülls (>30%) und durch die natürliche Befeuchtung (Niederschlag) eingestellt und erzeugte damit über **3.000.000 Nm<sup>3</sup> Deponiegas** bei ca. **1.000.000 m<sup>3</sup> eingelagertem Müllvolumen**. Das bedeutet **pro m<sup>3</sup> Müll** wurden **ca. 3 Nm<sup>3</sup> Deponiegas** abgesaugt und verwertet.

Folglich:

Ein m<sup>3</sup> Müll mit einer theoretischen Deponiegaskapazität von 150 - 200 m<sup>3</sup> würde demzufolge über 50 Jahre Deponiegas mit einer Qualität von über 50 % erzeugen, bis ein Inertisierungsgrad erreicht wird und die Methangasgärung theoretisch zum Abklingen kommt.

**B:** Durch Abdeckungsmaßnahmen wird der Niederschlagseintrag unterbunden, durch einen entsprechenden Ausbau des Gasfassungssystems kann man die Deponiegasmenge bis zu einem gewissen Punkt ausgleichen. Wird jedoch keine technische Bewässerung des Müllbergs durchgeführt bricht über einen Zeitraum von ca. einem Jahr die Methangasgärung zusammen und der Müllberg mumifiziert.

**C:** Ist bei einem Bioreaktor erst dieser Status erreicht, benötigt er sehr viel Infiltrationswasser, um diese eingetretene Dehydrierung wieder auszugleichen. Wird diese Wasserzufuhr zu schnell ausgeführt entsteht keine Benetzung des Mülls. Das Wasser fließt durch den ausgetrockneten Müll. Des weiteren müssen sich die durch die Dehydrierung abgestorbenen Mikroorganismen erst wieder regenerieren. Dies ist ein Phänomen das im Deponiebetrieb von übersaugten Müllbereichen bekannt ist.

**Die vorstehende Ausführungen darstellen ist es wichtig, den mit der Einlagerung des Mülls primär vorgegebenen Wassergehalt ( ca. 30 %) mit einer flächigen Infiltrationsschicht schon während der Betriebsphase zu stabilisieren bzw. noch zu steigern. Ist die Müllschüttung abgeschlossen ist unter der Abdeckung ein weiteres Infiltrationssystem auszubauen. Somit ist gewährleistet, dass der Dehydrierungseffekt nicht eintritt und die Deponie in einzelnen Zwischenebenen auch schon während der Betriebsphase bewässert werden kann.**



Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, Freising-Weihenstephan, Herr Dr. Bäumler

Deponie "Im Dienstfeld". Bestimmung des Wassergehalts und Temperaturverlaufs,

Probenahme 1997 und 2000

Proben-Bez.	Probentiefe	Wassergehalt (Gew. %)	
		1997	2000
<b>EBA II_II/1</b>	2 m	35,8	23,3
II/2	4 m	36,6	18,1
II/3	6 m	40,3	22,5
II/4	8 m	26,1	27,3
II/5	10 m	30,8	19,4
<b>Mittelwert</b>		<b>33,9</b>	<b>22,1</b>

Temperaturverlauf °C	
1997	2000
17	19
24	25
34	30
35	37
35	36-38
<b>29,0</b>	<b>27,8</b>

<b>EBA I_III/1</b>	2 m	38,7	15,6
III/2	4 m	47	17,6
III/3	6 m	38	31,5
III/4	8 m	35,3	37,9
III/5	10 m	32,6	29,1
<b>Mittelwert</b>		<b>38,3</b>	<b>26,3</b>

18	12
25	15
34	20-22
39	20-21
40	27-28
<b>31,2</b>	<b>13,5</b>

<b>EBA I_IV/1</b>	2 m	51,1	5,6
IV/2	4 m	43,9	24,8
IV/3	6 m	34,2	20,3
IV/4	8 m	34,6	26,2
IV/5	10 m	43,5	16,9
<b>Mittelwert</b>		<b>41,5</b>	<b>18,8</b>

19	13-15
35	19
38	22-23
44	23-25
47	26
<b>36,6</b>	<b>22,5</b>

<b>EBA IIIb_V/1</b>	2 m	50,2	19,4
VI/2	4 m	49,5	26,2
VI/3	6 m	43,8	15,3
VI/4	8 m	41,9	21,0
VI/5	10 m	55,1	25,5
<b>Mittelwert</b>		<b>48,1</b>	<b>21,5</b>

24	18
28	27-28
35	30
40	38-40
41	38-40
<b>33,6</b>	<b>24,0</b>

<b>EBA I_I/1</b>	2 m		11,7
III/2	4 m		15,5
III/3	6 m		17,4
III/4	8 m		14,6
III/5	10 m		17,3
<b>Mittelwert</b>			<b>15,3</b>

	18-20
	26
	38
	43
	48
	<b>38,8</b>

<b>EBA I_III/1</b>	2 m		19,1
III/2	4 m		22,6
III/3	6 m		11,6
III/4	8 m		15,2
III/5	10 m		9,7
<b>Mittelwert</b>			<b>15,6</b>

	19
	28
	33-34
	43-44
	44-46
	<b>23,5</b>

	Wassergehalt (Gew. %)	
<b>Gesamt mittelwert</b>	<b>40,5</b>	<b>19,9</b>

Temperaturverlauf °C	
<b>32,6</b>	<b>25,0</b>

**Deponie "Im Dienstfeld"****Anlage 2****Energie- und Deponiegasbilanz in den Betriebsjahren 1995 bis 2002**

Betriebsjahr	Deponiegas	Erz. elektr. Energie	mittlerer CH4-Gehalt	Energiefaktor	Gasbrunnen	Abdeckung
	N/m <sup>3</sup> pro a	kWh pro a	% im Jahresmittel		Stück	% pro Gesamtfläche
1995	1.769.037	2.748.387	54,5	1,55	65	ca. 30 %
1996	3.193.787	4.845.157	52,3	1,52	95	ca. 30 %
1997	3.353.477	5.210.012	53,2	1,55	98	ca. 40 %
1998	3.341.473	5.318.837	53,8	1,57	105	ca. 45 %
1999	3.190.182	5.739.944	53,4	1,80	105	ca. 50 %
2000	3.496.706	5.468.048	51,9	1,56	118	ca. 70 %
2001	2.632.061	4.192.849	51,0	1,59	118	ca. 95 %
2002	2.031.036	3.223.062	Kein Wert	1,59	118	ca. 95 %

## Deponie "Im Dienstfeld"

## Anlage 3

Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, Freising-Weihenstephan, Herr Dr. Bäumler

## Bestimmungen des GV, TOC, TIC und Gasbildung

2000 EBA / Proben-Bez.	1997	Glühverlust			TOC			TIC			Gasbildung		
		normiert	97	97	normiert	97	97	normiert	97	97	normiert	97	97
		GV	GV	GV	TOC (%)	TOC (%)	TOC	TIC (%)	TIC (%)	TIC	21	21	21
		[%]	[%]	[%]							(Nl/kg TS)		
EBA II_II/1	EBA II 1	39	34,125	46,947	32,68	28,6	34,82	0,94	0,8	0,48	0,06	0,05	0,36
	II/2	44,1	39,69	34,985	26,24	23,6	22,26	0,96	0,9	0,87	1,92	1,73	0,65
	II/3	38,7	32,895	64,303	19,95	17,0	26,29	0,86	0,7	0,3	1,89	1,61	0,23
	II/4	51,4	41,12	37,394	24,9	19,9	21,64	1,39	1,1	1,09	1,69	1,36	0,82
	II/5	56,9	45,52	42,927	24,78	19,8	23,25	1,26	1,0	0,48	0,23	0,18	0,36
	Mittelwert	46,0	38,7	45,3	25,7	21,8	25,7	1,1	0,9	0,6	1,2	1,0	0,5
EBA I_III/1	EBA I 2	43	37,625	50,362	19,28	16,9	37,19	0,91	0,8	0,33			0,25
	III/2	43,3	38,97	49,364	27,54	24,8	29,92	1,52	1,4	0,66			0,50
	III/3	57,1	48,535	39,549	27,75	23,6	26,72	1,4	1,2	0,72			0,54
	III/4	41,8	37,62	36,549	20,39	18,4	23,12	0,79	0,7	0,44			0,33
	III/5	48,4	43,56	41,866	24,82	22,3	23,22	1,05	0,9	0,76			0,57
	Mittelwert	46,7	41,3	43,5	24,0	21,2	28,0	1,1	1,0	0,6			0,4
EBA I_IV/1	EBA I 6	60,1	57,095	54,387	28,78	27,3	31,24	0,2	0,2	0,16	2,40	2,28	0,12
	IV/2	46,6	34,95	51,062	22,6	17,0	28,13	0,74	0,6	0,72	3,88	2,91	0,54
	IV/3	51,6	41,28	39,291	19,74	15,8	22,71	0,69	0,6	1,28	1,92	1,53	0,96
	IV/4	54,7	41,025	37,722	26,33	19,7	22,45	1	0,8	0,79	1,90	1,42	0,59
	IV/5	52,8	36,96	35,536	22,13	15,5	21,24	0,76	0,5	1,37	0,06	0,04	1,03
	Mittelwert	53,2	42,3	43,6	23,9	19,1	25,2	0,7	0,5	0,9	2,0	1,6	0,6
EBA IIIa_VI/1	EBA IIIa 5	61,1	51,935	43,662	28,94	24,6	22,95	1,21	1,0	0,95	1,51	1,29	0,71
	VI/2	48,2	45,79	41,229	20,62	19,6	20,66	1,07	1,0	0,65	0,42	0,40	0,49
	VI/3	50,8	43,18	45,937	26,07	22,2	20,86	0,07	0,1	1,31	1,30	1,10	0,98
	VI/4	64,1	57,69	44,851	21,15	19,0	20,79	0,6	0,5	1,51	0,43	0,39	1,13
	VI/5	61,2	48,96	49,565	30,95	24,8	24,41	1,05	0,8	0,74	0,67	0,53	0,56
	Mittelwert	57,1	49,5	45,0	25,5	22,0	21,9	0,8	0,7	1,0	0,9	0,7	0,8

## **Anlage 4**

Die Bestimmung der Gasbildung erfolgte am BITOEK-Institut (Institut für terrestrische Oekosystemforschung) der Universität Bayreuth mittels Gärversuch in drei Parallelen.

### **Versuchsdurchführung:**

#### **1, Probeneinwaage, Einstellung des Wassergehaltes und Schaffung anaerober Bedingungen**

Jeweils 80g der getrockneten, geschredderten (<1cm) Müllproben wurden in 500 ml sterile Infusionsflaschen (Merck ABS, Dietikon, Switzerland) gefüllt. Die Flaschen wurden drei mal evakuiert und mit Stickstoff begast. Zur Einstellung eines Wassergehaltes von 50% der TS erfolgte die Zugabe von 40ml anoxischem sterilem Wasser in einer Mecaplex Anaerobenkammer (100% Stickstoff Gas Phase).

Die Probenflaschen wurden mit Butylgummistopfen und Aluminiumkappen luftdicht verschlossen und aus der Kammer ausgeschleust. Durch das Einleiten von sterilem Stickstoff konnte in den Flaschen ein Überdruck von ca.100-200mbar eingestellt werden. Anschließend wurden die Proben zur homogenen Verteilung des Wassers zwei Stunden auf einen Überkopfschüttler gestellt. Eine erste Messung (Zeit  $t_0$ ) zeigte, dass noch kein Methan vorhanden war.

#### **2, Inkubation**

Die Infusionsflaschen wurden stehend bei 30°C im Dunkeln über einen Zeitraum von 40 Tagen inkubiert.

#### **3, Methan-Messung mittels Gaschromatographie**

Zur Methan-Messung im Gaschromatographen wurde die Software Hewlett-Packard Co. (Palo Alto, Calif. USA) 5980 series II verwendet. Mit sterilen Spritzen wurden Proben von 100 $\mu$ l aus den Infusionsflaschen gezogen. Die Detektion erfolgte durch einen Flammenionisationsdetektor (FID) bei einer Retentionszeit von 1,3 min. Als Säule wurde ein Molekularsieb, 2m x 1/8 (Alltech, Unterhaching, Deutschland) verwendet. Das Trägergas Helium durchströmte die Apparatur mit einer Flussrate von 30 ml/min bei einer Ofentemperatur von 60°C. Die Detektionstemperatur betrug 150°C während die Injektions-Temperatur auf 120°C eingestellt wurde.

Zur Quantifizierung des Methangehalts wurden externe Standards verwendet. Zudem musste bei der Berechnung der Gasdruck berücksichtigt werden, der mit Hilfe eines Ballmoos (Horgen, Schweiz) DMG 2120 Druckaufnehmers gemessen wurde.

Gasmenge über Gasdruck...Dann aus der detektierten Konzentration auf Gesamtmethangehalt geschlossen...d.h. auf die Gasqualität...

## Deponie "Im Dienstfeld", Gärtest

## Anlage 5

Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, Freising-Weihenstephan, Herr Dr. Bäumler

Standort	Tiefe	GB39	GB21	20°C	20°C	0°C, 50% CH4	0°C, 50% CH4	Glühverlust [%]	GB39	GB21	GB39	GB21	
				GB39	GB21	GB39	GB21						n.n
	m	µmol CH4/g TS		( I CH4/kg TS)		(NI / kg TS)			(NI / kg oTS)		(NI / kg oTS)		
								n.n	normiert	n.n	normiert	n.n	normiert
EBA II / II	0-2	2,75	1,48	0,06	0,03	0,11	0,06	39	34,13	0,29	0,34	0,16	0,18
	2-4	85,83	45,97	1,92	1,03	3,58	1,92	44,1	39,69	8,12	9,03	4,35	4,83
	4-6	84,13	45,3	1,88	1,01	3,51	1,89	38,7	32,90	9,07	10,68	4,89	5,75
	6-8	75,38	40,59	1,69	0,91	3,15	1,69	51,4	41,12	6,12	7,65	3,30	4,12
	8-10	10,25	5,52	0,23	0,12	0,43	0,23	56,9	45,52	0,75	0,94	0,40	0,51
	Mittel	51,56	27,76	1,15	0,62	2,15	1,16	46,02	38,67	4,68	5,57	2,52	3,00
EBA I / IV	0-2	106,6 3	57,42	2,39	1,29	4,45	2,40	60,1	57,10	7,41	7,80	3,99	4,20
	2-4	172,7 5	93,02	3,87	2,08	7,21	3,88	46,6	34,95	15,47	20,63	8,33	11,11
	4-6	85,25	45,9	1,91	1,03	3,56	1,92	51,6	41,28	6,90	8,62	3,71	4,64
	6-8	84,5	45,5	1,89	1,02	3,53	1,90	54,7	41,03	6,45	8,60	3,47	4,63
	8-10	2,75	1,48	0,06	0,03	0,11	0,06	52,8	36,96	0,22	0,31	0,12	0,17
	Mittel	90,38	48,67	2,02	1,09	3,77	2,03	53,16	42,26	7,10	8,93	3,82	4,81
EBA IIIb / V	0-2	2,25	1,21	0,05	0,03	0,09	0,05	47,7	44,12	0,20	0,21	0,11	0,11
	2-4	147,6 3	79,49	3,31	1,78	6,16	3,32	62,5	57,81	9,86	10,66	5,31	5,74
	4-6	131,6 3	70,88	2,95	1,59	5,49	2,96	53,4	48,06	10,29	11,43	5,54	6,16
	6-8	109,3 8	58,89	2,45	1,32	4,57	2,46	62,5	50,00	7,31	9,13	3,93	4,92
	8-10	145,8 8	78,55	3,27	1,76	6,09	3,28	73,7	68,17	8,26	8,93	4,45	4,81
	Mittel	107,3 5	57,8	2,40	1,29	4,48	2,41	59,96	53,63	7,47	8,35	4,02	4,50
EBA IIIa / VI	0-2	67,38	36,28	1,51	0,81	2,81	1,51	61,1	51,94	4,60	5,42	2,48	2,92
	2-4	18,75	10,1	0,42	0,23	0,78	0,42	48,2	45,79	1,62	1,71	0,87	0,92
	4-6	57,63	31,03	1,29	0,70	2,41	1,30	50,8	43,18	4,74	5,57	2,55	3,00
	6-8	19,13	10,3	0,43	0,23	0,80	0,43	64,1	57,69	1,25	1,38	0,67	0,75
	8-10	29,75	16,02	0,67	0,36	1,24	0,67	61,2	48,96	2,03	2,54	1,09	1,37
	Mittel	38,53	20,75	0,86	0,46	1,61	0,87	57,08	49,51	2,82	3,25	1,52	1,75

normiert = der Glas-Metall-Stein Anteil wurde berücksichtigt