

Diplomarbeit

Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen

Modelldeponie Allerheiligen

erstellt für

**Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und
Entsorgungstechnik**

Vorgelegt von:

Peter Müller

Matr.Nr. 9135146

Betreuer/Gutachter:

Dipl.-Ing. Johannes Novak

O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber

Leoben, Dezember 2004

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Leoben, Dezember 2004

Peter Müller

DANKSAGUNG

Ich möchte mich bei Herrn O.Univ.-Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber für das Zustandekommen dieser Diplomarbeit, bei der ich auf vielen Gebieten wichtige Erfahrungen sammeln konnte, herzlich bedanken. Meinen ausdrücklichen Dank möchte ich meinem Diplomarbeitsbetreuer Herrn Dipl.Ing. Johannes Novak für die hervorragende Betreuung und Hilfestellungen, für seine glänzenden Anregungen und Ideen und seine Geduld für die lange Projektdauer aussprechen! Die Hilfsbereitschaft von Herrn Dipl.-Ing. Schulik war mir bei der Einführung in das Projekt eine große Stütze.

Herr Dipl.-Ing.Dr. Günther Illitsch von der Fachabteilung 19D der Steiermärkischen Landesregierung sowie Herr Dipl.-Ing.Dr. Michael Loidl und Frau Dipl.-Ing. Mathilde Danzer vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft möchte ich für die anregenden Diskussionen und guten Vorschläge danken.

Ein weiterer Dank gilt dem Mürzverband, allen voran Herrn Gerhard Hintsteiner mit seinem Team in Allerheiligen, das mich bei diesem Projekt immer gerne und professionell unterstützt hat und ohne deren Hilfe vor allem die Abschlussarbeiten an den Kompartimenten nicht möglich gewesen wären.

In besonderem Maße gebührt mein Dank meinen Eltern, die mich bei meinen Entscheidungen immer unterstützt haben und es mir ermöglicht haben, eine Ausbildung zu erhalten, die ich nicht als selbstverständlich erachte.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner guten Freundin Birgit bedanken, die mir in all den Jahren der Ausbildung immer zur Seite stand, mir die nötige Energie gab und auch den Biorhythmus eines Studenten nicht verwünschte.

Wer will, dass die Welt so bleibt wie sie ist,
will nicht, dass sie bleibt.

[Erich Fried]

Kurzfassung

Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen

Modelledeponie Allerheiligen

Die Errichtung der Modelledeponie Allerheiligen umfasste die wissenschaftliche Begleitung des Pilotprojektes zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung und die detaillierte Untersuchung des Deponie-Langzeitverhaltens der Schwerfraktion einer mechanisch-biologischen Restmüll Behandlungsanlage (MBA).

Als Versuchsanordnung wurden vier umschlossene Großlysimeter (Versuchskompartimente) mit einer Grundfläche von 5 m x 5 m sowie einer Höhe von 3 m am Deponiestandort Allerheiligen/Mürztal errichtet. Die Kompartimente wurden mit Schwerfraktion < 12 mm von vorbehandeltem Restabfall aus der am Standort Allerheiligen betriebenen mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage befüllt, abgedichtet und anschließend mit einer 5 m hohen Schicht aus Grobkompost abgedeckt, um einen Einfluss der Umgebungstemperatur zu minimieren. Zwei der Kompartimente wurden während des Versuchszeitraumes durch Sickerwasserrückführung und Bewässerung unter feuchten Bedingungen, die anderen beiden ohne Bewässerung und Sickerwasserrückführung betrieben.

Während des Versuchszeitraumes erfolgten eine kontinuierliche Messung der Gasqualität und Gasquantität sowie eine Aufzeichnung der anfallenden Sickerwassermengen. Nach einem definierten Beprobungsplan erfolgten laufende Messungen der chemischen Zusammensetzung der Sickerwässer (Ausnahme: Frühjahr 2000 bis Herbst 2001 – keine Messungen). Mit Ende der Versuche im Sommer 2003 wurden die Versuchskompartimente 1 und 2 geöffnet und das über fünf Jahre unter Deponiebedingungen (unterschiedliche Betriebsweisen) abgelagerte Material chemisch und physikalisch umfassend charakterisiert. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen der Gasspendensummen zeigten deutlich, dass das über fünf Jahre unter Deponiebedingungen abgelagerte Material kaum mehr Gasbildungspotenzial besitzt. Es konnte eine Verringerung von 98 % des Gasbildungspotenzials festgestellt werden. Bei den Messungen der Gasqualität zeigte sich eine deutliche Reduktion des Methangehaltes von anfänglich 55 % auf ca. 20 %. Die Messwerte mit hohem Sauerstoff- bzw. Stickstoffanteil im letzten Versuchsjahr lassen auf das Eindringen von Umgebungsluft in die Entgasungssysteme der Versuchskompartimente schließen.

Der beprobte Feststoff zeigte eine deutlich reduzierte Atmungsaktivität nach 4 bzw. 7 Tagen, was eine wesentliche Komponente zur Stabilisierung des MBA-Materials darstellt. Der Brennwert (H_o) des beprobten Outputmaterials hatte den verordneten Grenzwert von 6.000 kJ/kg bzw. 6.600 kJ/kg (DVO 1996 i.d.g.F.) unterschritten, verringerte sich jedoch gegenüber dem Inputmaterial nur um etwa 10 %. Bei den untersuchten Probenmaterialien konnte teilweise eine Aufkonzentration von Schwermetallen im Feststoff beobachtet werden.

Abstract

Behaviour of Mechanical-Biologically Pretreated Household Waste under Landfill Conditions **Model Landfill Allerheiligen**

The Styrian Regional Government (Department 19D), as well as the Federal Ministry for Agriculture and Forestry assigned in 1998 the Institute for Sustainable Waste Management and Technology (IAE) the construction of the „Model Landfill Allerheiligen“. The aim of the project was to investigate the behaviour of mechanical-biologically pre-treated (MBT) household waste under landfill conditions. The tasks of IAE additionally consisted on the scientific follow-up of the pilot project by investigating the long-term behaviour of the MBT-waste.

Four closed large-scale lysimeters with a 5 m x 5 m basis and a height of 3 m were constructed for the experiments nearby the landfill Allerheiligen. The lysimeter-cells were filled with pre-treated waste material (< 12 mm) from the MBT-plant. The waste was then covered with a 5 m layer of compost material in order to minimise the influence of the ambient temperature. Different moisture conditions were examined during the experiment: two test-cells were irrigated with fresh water and with the collected leachate (wet conditions). The other two test-cells were operated without irrigation (dry conditions).

The amount and quality of the produced gas and leachate was measured during the experiment. The chemical analyses of the leachate were performed continuously, with the exception of the time period from springtime 2000 until autumn 2001, when no measurements were carried out. In summer 2003, at the end of the five-year-experiment, the cells 1 and 2 were opened and the remaining material was chemically and physically characterised. The results from the gas analysis showed, that the remaining material had almost no gas production potential. Altogether, a reduction of 98 % in gas production was achieved in five years. The amount of methane in the gas was also reduced from 55 % to 20 %. The gas samples taken during the last year showed higher concentrations of oxygen and nitrogen. This may have been caused by the infiltration of air through the ventilation system in the test-cells.

Due to the stabilisation of the MBT-material, the specific oxygen uptake rate (SOUR after 4 and 7 days) of the solid samples decreased during the experiment. The upper heating value (H_o) of the output material also fell below the limit value (6,000 kJ/kg or 6,600 kJ/kg) ordered in the Austrian landfill ordinance (1996). In addition, the difference of the upper heating value between input and output material was only 10 %. As expected, the concentration of heavy metals in solid samples increased during the five years.

Inhaltsverzeichnis

Seite**KURZFASSUNG****ABSTRACT**

1	PILOTPROJEKT ZUR MBR IM MÜRZVERBAND	4
1.1	Einleitung	4
1.2	Problemstellung	5
1.3	Zielsetzung	7
1.4	Rechtliche Rahmenbedingungen	8
2	MODELLDEPONIE ALLERHEILIGEN	11
2.1	Allgemeines	11
2.1.1	Standortbeschreibung der Deponie	11
2.1.2	Asphaltabdichtung	12
2.1.3	Standort der Kompartimente	12
2.1.4	Grundwasserschutz und Hochwassersicherheit	12
2.1.5	Errichtung der Grundfläche	13
2.1.6	Errichtung der Stützschalung für die Kompartimente	13
2.1.7	Beschreibung der Kompartimente	13
2.2	Deponiekompartimente	13
2.2.1	Schweißverfahren	14
2.2.2	Anschlüsse am Kompartiment	14
2.2.3	Sickerwasserrückverrieselung	14
2.2.3.1	Temperaturmessung	14
2.2.4	Sickerwasserdrainage	15
2.3	Untersuchungen zum eingebauten Material	19
2.3.1	Grundlegende Anmerkung	19
2.3.2	Untersuchungsergebnisse des verfüllten Materials	20
2.3.3	Verfülltes Probenvolumen	24

3	CHRONOLOGIE DES PROJEKTES	25
3.1	Projektphase 1 (1996 – 1997).....	25
3.2	Projektphase 2 (1997 – 2000).....	25
3.3	Zeitraum ohne Messungen (2000 – 2001).....	30
4	PROJEKTPHASE 3	31
4.1	Überblick.....	31
4.2	Dichtheitsuntersuchungen der Kompartimente	32
4.2.1	Kamerabefahrung der Gasdome	32
4.2.2	Abdruckversuch.....	34
4.2.3	Geophysikalische Leitfähigkeitsmessung – Technischer Bericht	37
4.2.3.1	Einleitung und Problemstellung	37
4.2.3.2	Messtechnik.....	37
4.2.3.3	Durchführung der Messung	39
4.2.3.4	Messergebnisse	39
4.2.3.5	Interpretation der Ergebnisse	40
4.2.3.6	Schlussfolgerungen der Leitfähigkeitsmessungen	41
4.2.4	Tracer-Versuch.....	44
4.2.4.1	Kompartiment 2	44
4.2.4.2	Schlussfolgerungen zu Kompartiment 2.....	46
4.2.4.3	Kompartiment 4	47
4.2.4.4	Schlussfolgerungen zu Kompartiment 4.....	49
4.2.5	Kamerabefahrung der Sickerwasserleitungen.....	49
4.2.5.1	Schlussfolgerungen zur Kamerabefahrung	49
4.3	Durchgeführte Messungen.....	52
4.3.1	Gas- und Sickerwasserbeprobungsplan.....	52
4.3.2	Deponiegas	55
4.3.2.1	Gasbildungspotenzial	55
4.3.2.2	Gaszusammensetzung.....	62
4.3.2.3	Verhältnis Methan/Kohlendioxid	65
4.3.3	Sickerwasser	67
4.3.3.1	Menge.....	69
4.3.3.2	pH-Wert	71
4.3.3.3	Elektrische Leitfähigkeit.....	72

4.3.3.4	Temperatur	73
4.3.3.5	Chemische und biochemische Parameter	74
4.3.4	Physikalische Untersuchungen	80
4.3.5	Feststoff	82
4.3.5.1	Inkubationsversuch	92
5	ÖFFNUNG DER VERSUCHSKOMPARTIMENTE	97
5.1	Rohrrammversuch	97
5.2	Entfernen der Überdeckungsschicht	99
5.3	Probenahme	103
5.3.1	Vorbereitungen	103
5.3.2	Durchführung	104
5.4	Ergebnisse der Untersuchungen BOKU	107
5.4.1	Ergebnisse der Untersuchungen in Kurzform	108
	PROBE 1 (ALL 1)	108
	PROBE 2 (ALL 2)	108
5.4.2	Interpretation der Ergebnisse	109
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN	110
7	VERZEICHNISSE	112
7.1	Literatur	112
7.2	Verwendete Abkürzungen/Begriffe	115
7.3	Tabellen	117
7.4	Abbildungen	118
7.5	Beilagen Leitfähigkeitsmessung	

1 Pilotprojekt zur MBR im Mürzverband

1.1 Einleitung

Die Ziele und Grundsätze einer modernen Abfallwirtschaft, die eine Vermeidung nachteiliger Auswirkungen auf Mensch und Umwelt, die Schonung von Rohstoff- und Energiereserven und einen möglichst geringen Verbrauch an Deponievolumen vorsehen, geben als oberste Priorität zur Erreichung der Zielsetzungen die Vermeidung und Verwertung von Abfällen vor. Aber selbst in einer hochentwickelten Gesellschaft wie der unseren werden auch nach größtmöglicher Ausschöpfung ökologisch sinnvoller Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen Reststoffe anfallen, die einer umweltgerechten Behandlung und Entsorgung bedürfen. Die Behandlung hat laut AWG 2002 so zu erfolgen, dass keine Belastung oder Bedrohung für nachfolgende Generationen eintritt:

„...nicht verwertbare Abfälle sind je nach ihrer Beschaffenheit durch biologische, thermische, chemische oder physikalische Verfahren zu behandeln. Feste Rückstände sind möglichst reaktionsarm und ordnungsgemäß abzulagern (Abfallbeseitigung)“ [1].

Auch eine ordnungsgemäße Abfallbehandlung kann eine teilweise schädliche oder nachteilige Einwirkung auf die Umwelt nicht ausschließen. Entsprechend den Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes sind diese Einwirkungen jedoch so gering wie möglich zu halten.

Siedlungsabfälle werden derzeit im Wesentlichen nach einer thermischen oder mechanisch-biologischen Behandlung deponiert bzw. durch entsprechende Ausnahmegenehmigungen, die spätestens mit Ende 2008 auslaufen, auch unbehandelt deponiert.

Bei Ablagerung von Abfällen mit organischen Anteilen, die auch im unbehandelten Hausmüll oder hausmüllähnlichen Abfällen anfallen, kommt es, hervorgerufen durch mikrobielle Abbauprozesse, zur Bildung von Deponiegas. Das Deponiegas besteht nach Erreichen der stabilen Methanphase zu 50 - 60 % aus Methan und 40 - 50 % aus Kohlendioxid. Die Gefährdungen und Belästigungen, welche von Deponiegas ausgehen, bedingt die Notwendigkeit zu einer möglichst vollständigen Erfassung und Behandlung des Deponiegases.

Mögliche Gefährdungen und Belästigungen sind:

- Gesundheitsgefährdung (Erstickungsgefahr, toxische Eigenschaften)
- Explosionsgefahr
- Treibhausgaspotenzial
- Vegetationsschäden und
- Geruchsbelästigung

Der Großteil der österreichischen Deponien, in denen Abfälle mit Gasbildungspotenzial abgelagert wurden, verfügt über eine aktive Deponiegasabsaugung. Eine gesamte

Deponiegaserfassung ist technisch nicht möglich, sodass ein Teil des Deponiegases diffus aus der Deponie austritt. Im Jahr 2001 wurden nach Berechnungen des Umweltbundesamtes rund 3,8 Mio. t CO₂-Äquivalente aus Deponien emittiert. Das sind 4,5 % der von Österreich insgesamt emittierten Treibhausgase [2].

Die Methan-Emissionen aus den Mülldeponien sind zwischen 1990 und 2001 um 22 % gefallen, obwohl seit Mitte der 90er Jahre die deponierten Mengen wieder steigen. Als Ursache für den Rückgang der Methan-Emissionen kann eine verbesserte Deponiegaserfassung angesehen werden. Die auf den Deponien anfallenden Deponiegase werden größtenteils erfasst und in weiterer Folge einer thermischen bzw. energetischen Nutzung zugeführt. Diese abgesaugte Deponiegasmenge hat laut Erhebungen des Umweltbundesamtes zugenommen und wurde damit nicht unkontrolliert in die Umgebung emittiert [3]. Im Bereich der gasförmigen Emissionen kommt dem Methan eine besondere Bedeutung zu, da zum einen das Methan an der stratosphärischen Ozon(zerstörungs)dynamik beteiligt ist, zum anderen seine atmosphärische Konzentration bereits dreimal so hoch ist, wie zur Zeit des postglazialen Wärmeoptimums [4].

Durch die mechanisch-biologische Restabfallbehandlung wird das Emissionspotenzial von Restabfällen bei deren Ablagerung vermindert. So werden einerseits sowohl das Deponiegasbildungspotenzial als auch die organische Belastung im Sickerwasser weitgehend reduziert, andererseits wird die Gewinnung einer heizwertreichen Brennfraction für die thermische Verwertung erzielt, weswegen sich auch der Begriff „Restmüllsplitting“ etabliert hat.

1.2 Problemstellung

Jährlich fallen im gesamten Bundesgebiet Österreichs etwa 3,1 Mio. t Restabfälle aus Haushalten oder hausmüllähnliche Gewerbeabfälle [5], sowie etwa 398.800 t Trockensubstanz Klärschlamm an, wovon 61 % aus dem kommunalen Bereich und 39 % aus der Industrie stammen [6], die einer weitergehenden Behandlung bedürfen. Die vor dem Jahre 2004 übliche, aber auch derzeit noch vorhandene Entsorgungspraxis der Deponierung unbehandelter Abfälle (Übergangsfristen für Tirol, Wien, Vorarlberg und Kärnten) widerspricht der heutigen gesetzlichen Lage, nach der die Anforderungen entsprechend der Deponieverordnung auch bei bestehenden Deponien zu erfüllen sind [7].

Der Gesetzgeber hat zur Konkretisierung seiner Zielsetzungen im Abfallwirtschaftsgesetz die Vorgaben an die Abfallwirtschaft in der Deponieverordnung BGBl. Nr. 164/1996 festgelegt, in der neben einer Präferenz für die Restmüllverbrennung auch die Möglichkeit einer mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) vorgesehen ist. Die MBRVD kann nicht als Alternative zur Müllverbrennung angesehen werden, sondern als Vorbehandlungsschritt für biologisch abbaubare Abfallkomponenten. Durch diese mechanisch-biologische Vorbehandlung kann eine thermische Behandlung von Restabfällen bzw. die thermische Verwertung heizwertreicher Fraktionen unter Ausnutzung der im Abfallstoff enthaltenen Energie betrieben werden.

Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass die Bedeutung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Österreich bei einem derzeitigen Bestand von 16 Anlagen (mit unterschiedlichem Standard) mit einer genehmigten Verarbeitungskapazität von insgesamt 705.000 t/a [8], auch in Zukunft einen hohen Stellenwert in der Abfallbeseitigung einnehmen wird.

Die mechanisch-biologische Vorbehandlung bietet vor allem die Möglichkeit, Restabfälle zum Zwecke:

- der Volums- und Massenreduktion durch Abbau der organischen Kohlenstoffverbindungen (Rotteverluste);
- der Entwässerung infolge der Nutzung der mikrobiellen exothermen Oxidationsprozesse;
- des Abbaus und der Reduzierung organischer (Schad-)Stoffe und der Stabilisierung der verbleibenden organischen Substanz;
- des Erhalts einer mengenmäßig minimierten energiereichen Brennstofffraktion aus überwiegend biologisch nicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen

zu behandeln.

Im Rahmen eines integrierten Abfallwirtschaftskonzeptes kann mit der MBRVD, deren Endprodukte der Deponieverordnung entsprechen, eine Deponieentlastung von bis zu 70 Masseprozent erzielt werden. Zusätzlich sind beim Einbau von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen im Vergleich zu unbehandeltem Hausmüll durchwegs höhere Abfallfeuchtdichten nachzuweisen [9].

Derzeit existieren noch keine Deponien, die ausschließlich mit mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen verfüllt wurden. Lediglich in Salzburg Siggerwiesen wurden innerhalb der bestehenden Reaktordeponie Monoschüttbereiche angelegt, in welchen sogenannter ungesiebter Rohkompost (Korngröße kleiner 150 mm) nach einer dreiwöchigen Intensivrotte zum Zwecke einer mehrjährigen Zwischenlagerung eingebaut wurde. Das Deponievolumen dieser Bereiche umfasst einige 100.000 m³. Sowohl aus der Sicht der Deponiegas- als auch der Sickerwassererfassung traten keine Probleme auf. Nach 2 – 4 jähriger Ablagerung in Mächtigkeiten bis zu 25 m wurden diese Materialien in einem zusätzlich anaerob stabilisierten Zustand wiederum abgebaut und zur Endabdeckung abgeschlossener Deponiebereiche mit anschließender Aufforstung herangezogen. Aus der Sicht des praktischen Deponiebetriebes hat sich diese Vorgangsweise gut bewährt, wobei keine Probleme aufgetreten sind. Aussagekräftige wissenschaftliche Untersuchungen wurden jedoch nicht durchgeführt.

Absicht der vorliegenden Untersuchungen war es, Material, welches als Endprodukt aus der MBA entsprechend den Vorgaben der Deponieverordnung auf Massenabfalldeponien abgelagert werden darf, durch praxisorientierte wissenschaftliche Untersuchungen hinsichtlich des zu erwartenden Langzeitemissionsverhaltens mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfälle unter Deponiebedingungen zu charakterisieren.

1.3 Zielsetzung

In verschiedenen Forschungsvorhaben wurde bereits versucht, das Deponieverhalten von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen mittels Deponiesimulationsversuchen nachzuahmen. Die Simulationsversuche erstreckten sich je nach Versuchsansatz auf unterschiedlich große Kompartimente einer Deponie, die im labor- oder halbtechnischen Maßstab nachgebaut wurden. Zur Verkürzung der Versuchsdauer wurden Ansätze entwickelt, die eine beschleunigte Abfolge der Vorgänge in einer Deponie bewirken (Zeitraffereffekt). Dies wird grundsätzlich mit technischen Mitteln wie Temperaturerhöhungen und erhöhten Sickerwasseraustauschraten erreicht. Das maximale Emissionspotenzial dieser vorbehandelten Abfälle lässt sich zwar mit diesen Versuchen ermitteln, Rückschlüsse auf die Kinetik unter normalen Deponiebedingungen sind dadurch gar nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Von dieser Situation ausgehend, entstanden natürlich das Interesse und der Bedarf an Untersuchungen und Praxisdaten über das mittel- und langfristige Verhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen unter Deponiebedingungen. Insbesondere das mittel- und langfristige Sickerwasser- und Gasemissionspotenzial dieser Abfälle wurde bisher in nicht ausreichendem Umfang erforscht, obwohl gerade aus dem dringenden Bedarf einer Limitierung dieser auftretenden Emissionen in der österreichischen Deponieverordnung eine Beschränkung der abzulagernden Abfälle im Hinblick auf deren Reaktionspotenzial erlassen wurde.

Insbesondere Untersuchungen zum Gasbildungsverhalten wurden unter realen Deponiebedingungen noch nicht vorgenommen. Im labortechnischen Maßstab wurden Gaspotenzial und -entwicklung mit Hilfe des Gärtests und von Deponiesimulationsreaktoren bestimmt, praxisrelevante Daten können aus diesen Versuchen nur bedingt abgeleitet werden.

Voraussetzung zur Untersuchung von deponierten, mechanisch-biologisch behandelten Abfällen ist die Schaffung einer oder mehrerer abgeschlossener Einheiten, die mit einer definierten Menge an mechanisch-biologisch vorbehandeltem Material, dessen oberer Heizwert, Qualität und Zusammensetzung bekannt ist, gefüllt werden. Aus diesem Grund wurden auf der Massenabfalldeponie Allerheiligen ein Versuchsfeld angelegt, auf dem ausschließlich mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle abgelagert wurden, die den Vorgaben der deponiefähigen Fraktion aus der mechanisch-biologischen Behandlung laut Deponieverordnung von 1996 entsprachen.

Ziel der vorliegenden Diplomarbeit war die begleitende wissenschaftliche Betreuung der dritten Projektphase der Modelldeponie Allerheiligen (siehe Kapitel 4).

1.4 Rechtliche Rahmenbedingungen

Im April 1996 wurde vom Bundesminister für Umwelt, Jugend und Familie eine Verordnung gemäß § 29 des Abfallwirtschaftsgesetzes erlassen, die unter dem Titel „Deponieverordnung“ eine dem Stand der Technik entsprechende Ausstattung und Betriebsweise bei der Ablagerung von Abfällen vorsieht. Für Neuanlagen gelten diese Bestimmungen seit 1. Jänner 1997, für Altanlagen seit dem Jahre 2004 (mit wenigen Ausnahmen gibt es Übergangsfristen bis zum Jahre 2009). Primäres Ziel dieser Deponieverordnung ist eine Verbesserung der Qualität abgelagerter Reststoffe und somit eine Verbesserung der „Inneren Sicherheit“ der Deponien.

Rund 28,5 % aller in Österreich anfallenden Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen gelangten laut Bundesabfallwirtschaftsplan 2001 noch immer unbehandelt auf die Deponie. Damit stand diese Entsorgungspraxis im Widerspruch zu den Grundsätzen des Abfallwirtschaftsgesetzes, das den Verbrauch an Deponievolumen und das Gefährdungspotenzial von abgelagerten Abfällen möglichst gering halten soll [§ 1 AWG].

Das Prinzip der Vermeidung von Abfällen steht dabei allen Grundsätzen der Abfallwirtschaft voran, gefolgt von dem Vorsorgeprinzip für die Behandlung der Abfälle. Nicht verwertbare Abfälle sind laut Deponieverordnung je nach ihrer Beschaffenheit biologisch, thermisch oder chemisch-physikalisch so zu behandeln, dass die festen Rückstände möglichst reaktionsarm und konditioniert abgelagert werden können.

Die österreichische Deponieverordnung definiert die mechanisch-biologische Behandlung folgendermaßen:

„Eine mechanisch-biologische Vorbehandlung zum Zweck der Deponierung ist eine verfahrenstechnische Kombination mechanischer und biologischer Prozesse zur Vorbehandlung von Abfällen. Ziel der mechanischen Prozesse ist insbesondere die Separierung von für eine biologische Behandlung wenig geeigneten Stoffen, von Störstoffen und Schadstoffen oder eine Optimierung des biologischen Abbaues der verbleibenden Abfälle durch Erhöhung der Verfügbarkeit und Homogenität; Ziel der biologischen Prozesse ist der Abbau organischer Substanzen (Ab- und Umbau biologisch abbaubarer Bestandteile) durch die Anwendung aerober oder anaerober mit nachfolgender aerober Verfahren; die mechanisch-biologische Vorbehandlung hat zu einer deutlichen Reduzierung der biologisch abbaubaren Anteile, des Volumens, des Wassergehaltes, des Gasbildungspotenzials und der Atmungsaktivität der Abfälle und zu einer deutlichen Verbesserung des Auslaugverhaltens und des Setzungsverhaltens der Abfälle zu führen“ [10].

Nachteilige Reaktionen, die bei der Deponierung von unbehandeltem Restmüll stattfinden, sollen durch die Regelungen der Deponieverordnung vermindert werden. Die Bildung von Deponiegas durch mikrobiellen Abbau organischer Substanz und die Bildung von sauren Abbauprodukten, die über das Sickerwasser die Mobilität von Schadstoffen in den Abfällen deutlich erhöhen. Um derartige nachteilige Reaktionen zu unterbinden, wurde eine

Reduktion des Anteils an abbaubarem Kohlenstoff in den abzulagernden Abfällen vorgesehen und der TOC auf einen Grenzwert von fünf Masseprozent festgelegt [11].

Die Festlegung des TOC bedingt wie auch in Deutschland (TASI) unweigerlich eine Präferenz für die Behandlung von Abfällen mit thermischen Methoden, welche eine Reduktion organischer Bestandteile auf den festgelegten Grenzwert von fünf Masseprozent gewährleisten. Auch im Bundesabfallwirtschaftsplan 1998 und 2001 wird festgehalten, dass eine thermische Abfallbehandlung als sinnvolle, notwendige und aufgrund der geringeren umweltbelastenden Auswirkungen den alternativen Behandlungsmethoden vorzuziehende Behandlungsart zu betrachten ist. Für die Verbrennung von Abfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen werden laut BAWP 2001 zusätzliche Kapazitäten von rd. 400.000 t/a benötigt. Aufgrund der fortgeschrittenen Planungsarbeiten wird aber darauf hingewiesen, dass bei Realisierung aller vorhandenen Planungen davon ausgegangen werden kann, dass „im Jahre 2004 insgesamt MVA-Kapazitäten von rd. 1,1 Mio. t/a bis maximal 1,3 Mio. t/a und weitere Kapazitäten von rd. 750.000 t/a für heizwertreiche Fraktionen zur Verfügung stehen werden“ [12].

Den Gegebenheiten in Österreich Rechnung tragend eröffnet jedoch die österreichische Deponieverordnung, im Gegensatz zu Deutschland und der Schweiz, die Möglichkeit, alternative Verfahren, insbesondere die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) von Restabfällen, als Vorbehandlung zur Erreichung der Vorgaben der Deponieverordnung einzusetzen. Das Verbot der Ablagerung von Abfällen mit mehr als fünf Masseprozent TOC gilt somit entsprechend den Ausnahmen § 5 DVO nicht für

„Abfälle aus der mechanisch-biologischen Vorbehandlung, die auf einer Massenabfalldeponie unter Einhaltung der Grenzwerte der Tabellen 7 und 8 der Anlage 1 abgelagert werden, sofern das Brennwertkriterium gemäß Anlage 5 Punkt G erfüllt wird“ [13].

Das Brennwertkriterium für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle wird in der DVO (i.d.g.F.) folgendermaßen definiert:

„Liegt der aus der Sammelprobe erhaltene Brennwert für die Abfallcharge bei höchstens 6.000 kJ/kg TS, so gilt das Brennwertkriterium als erfüllt. Überschreitet der erhaltene Brennwert den Wert von 6.000 kJ/kg TS, so ist eine Mehrfachuntersuchung der Abfallcharge erforderlich. Hierfür sind aus derselben Abfallcharge maximal fünf weitere Feldproben nach den Vorgaben der ÖNORM S 2123 Teil 1 zu ziehen. Es ist ein Beurteilungswert als arithmetischer Mittelwert aus den Ergebnissen aus allen Sammelproben zu ermitteln, wobei maximal das Ergebnis einer Sammelprobe auf Basis eines anerkannten Ausreißertests eliminiert werden darf. Überschreitet der Beurteilungswert den Wert von 6.600 kJ/kg TS nicht und liegt kein Ergebnis aus einer Sammelprobe nach allfälliger Ausreißerelimination über 7.200 kJ/kg TS vor, so gilt das Brennwertkriterium als erfüllt“ [14].

Die Vermischung eines Abfalls aus mechanisch-biologischer Vorbehandlung mit heizwertarmen Materialien oder Abfällen zur Unterschreitung dieses Grenzwertes ist jedenfalls verboten. Ausdrücklich wird festgehalten, dass durch die Verwendung alternativer

Behandlungsmethoden ein klarer Fortschritt zur gängigen Praxis in der Abfallwirtschaft erzielt werden kann, um dem wünschenswerten Trend der letzten Jahre einer stark gestiegenen Vielfalt an Behandlungsmethoden keinen Abbruch zu geben. Bezogen auf die in Betrieb befindlichen Anlagen bedeutet dies eine Anpassung an den Stand der Technik, wie dies vergleichsweise im Rahmen der Wasserrechtsgesetz-Novelle bei Kläranlagen erforderlich ist.

2 Modelldeponie Allerheiligen

2.1 Allgemeines

Im Sommer 1995 wurde am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) - heute: Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE) - der Montanuniversität Leoben die Arbeitsgruppe „Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD)“ begründet, die sich mit der Thematik der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung auseinandersetzt. Mit Studien, Gutachten und Pilotprojekten setzte sich das IAE das Ziel, Aussagen über die künftige ökologisch und ökonomisch sinnvolle Rolle der mechanisch-biologischen Verfahren in der österreichischen Abfallwirtschaft zu ermöglichen.

Die Steiermärkische Landesregierung, Fachabteilung 19D (Abfall- und Stoffflusswirtschaft) - vormals 1C - sowie das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft beauftragten 1998 das Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik mit der Errichtung der „Modelldeponie Allerheiligen“. Die Leistungen umfassten die wissenschaftlichen Begleitung des Pilotprojektes zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung und die detaillierte Untersuchung des Deponie-Langzeitverhaltens der Schwerfraktion einer mechanisch-biologischen Restmüll-Behandlungsanlage (MBA).

Da es bis dahin noch keine belastbaren Untersuchungen über das Langzeitverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandeltem Restabfall im Feldmaßstab gab, wurden Anfang 1998 vier umschlossene Großlysimeter auf dem Deponiegelände in Allerheiligen errichtet, an denen bis Mai 2000 laufend Untersuchungen zur Gasbildung, zum Sickerwasseranfall und zum Materialverhalten durchgeführt wurden (Phase 1 + 2).

Da die biologischen Vorgänge in den bestehenden 4 Kompartimenten der Modelldeponie in Allerheiligen noch nicht abgeschlossen waren, und Interesse bestand, den Zeitraum der Messungen zu verlängern, wurde das IAE durch das Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und das Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D, im Sommer 2001 mit der Fortführung des Pilotprojektes beauftragt (Phase 3).

2.1.1 Standortbeschreibung der Deponie

Das Betriebs- und Deponiegelände der Müllbehandlungsanlage Allerheiligen befindet sich im Gemeindegebiet von Allerheiligen, KG Sölsnitz auf den Parzellen Nr. 200/2, 200/1, 286/1, 286/2, 288, 201, 202, 203, 204, 199, 205, 285/1, 285/2 und 73. Als Betriebsanlagen befinden sich am Areal ein Altstoff- und Problemstoffsammelzentrum, die Abfallbehandlungsanlage und die Massenabfalldeponie, die nach einer Anpassung an den Stand der Technik am 15.2.1993 wasserrechtlich bewilligt wurde. Das Areal umfasst eine Fläche von 14 ha.

2.1.2 Asphaltabdichtung

Die behördlich genehmigte Massenabfalldeponie Allerheiligen verwendet in der ersten Ausbaustufe alternative bituminöse Dichtungssysteme, deren Beständigkeit und Wirksamkeit aufgrund zahlreicher Forschungsergebnisse nachgewiesen wurde.

2.1.3 Standort der Kompartimente

Die Kompartimente lagen in einem Bereich der Massenabfalldeponie Allerheiligen, der bereits verfüllt und weitgehend abgeschlossen ist. Dieser Bereich ist mit einer Basisdichtung versehen, sodass eventuell austretende Sickerwässer aus der Modelldeponie vom bestehenden Sickerwassererfassungssystem aufgenommen und einer Reinigung zugeführt werden konnten.

Die vor den Kompartimenten liegende Fläche wurde für diverse Tätigkeiten im Rahmen des Deponiebetriebes und des Abfallsammelzentrums genutzt, wodurch der Bereich einen freien und mühelosen Zugang zu den Installationen der Modelldeponie ermöglichte. Der Standort wurde so gewählt, dass eine Beeinträchtigung des fortlaufenden Anlagen- und Deponiebetriebes nicht gegeben war. Weiters durfte der gewählte Standort während des Versuchszeitraumes nicht mehr mit schweren Geräten wie Verdichter und ähnlichem befahren werden. Eine Versorgung mit Strom, Wasser usw. wurde mit stationär verlegten Leitungen sichergestellt.

Durch die natürliche Neigung des Asphaltuntergrundes wurde der Bau der doppelt geneigten Kompartimente erleichtert, da diese ein doppeltes Gefälle zur Sammlung des Sickerwassers aufweisen mussten.

2.1.4 Grundwasserschutz und Hochwassersicherheit

Der Standort befand sich im Auegebiet der Mürz in einer Flussschlinge im Unterwasserbereich des Kraftwerkes Mürzhofen. Der Bodenaufbau zeigt unter den ersten Schichten (lehmig-sandige-schluffige Schwemmsandablagerungen) einen geschichteten Schotter mit großer Mächtigkeit. Die Grundwasserströmung verläuft von Nordosten gegen Südwesten mit einem mittleren Gefälle von 0,64 %. Der Grundwasserspiegel liegt in einem Bereich zwischen 1,6 und 5,3 Meter, in der Regel zwei Meter unter der Geländeoberkante bei zunehmender Grundwasserabsenkung infolge der Eintiefung des Unterwassers. Der kf-Wert des Grundwasserleiters beträgt $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. Die Fließgeschwindigkeit beträgt 5 Meter pro Tag. Im Zuge der Errichtung der bestehenden Anlage wurden Hochwasserschutzmaßnahmen in Form von Dämmen längs der Mürz ausgebildet. Durch diese wasserrechtlich bewilligten technischen Vorkehrungen wird das Ausufernde der Mürz in die Müllschüttung verhindert, wodurch auch die Hochwassersicherheit HQ100 der Modelldeponie erreicht werden konnte.

2.1.5 Errichtung der Grundfläche

Die für die Errichtung der Modelldeponie notwendige Grundfläche von rund 120 m² wurde mit einem Radlader des Mürzverbandes vorbereitet. Das aus dem bestehenden Alt-Müllkörper ausgehobene Material wurde auf die Massenabfalldeponie verbracht und diente später zum Überschütten der Kompartimente. Der weitere Aufbau der Grundfläche erfolgte schichtweise mit Schotter, Asphaltrecyclingmaterial und Feinsand 0/8 Rundkorn als oberste Schicht. Diese Sandschicht sollte verhindern, dass die Kompartimente durch scharfkantige Materialien beschädigt werden.

2.1.6 Errichtung der Stützschalung für die Kompartimente

Nach Rücksprache mit dem Techniker für die Verlegung der Kunststoffdichtungsbahnen war die Errichtung einer verlorenen Stützschalung erforderlich. Dazu wurden vier quadratische Umrandungen aus Holz aufgestellt, je zwei direkt über eine gemeinsame Wand verbunden und von dem zweiten Paar einen Meter getrennt. Die Stützschalung wurde mit denselben Maßen errichtet wie die später darin eingebauten KDB-Kompartimente der Modelldeponie.

2.1.7 Beschreibung der Kompartimente

Bei der Ausführung der Versuchsdeponiefelder (Kompartimente) wurden die wesentlichen Grundsätze der Deponietechnik zur Anwendung gebracht. Eine strenge Berücksichtigung der technischen Vorgaben entsprechend der Deponieverordnung von 1996 (z.B. Kombinationsdichtung) war aufgrund der Tatsache, dass sich die Versuchsanlage auf einem genehmigten Deponiegelände befindet und dem Faktum kürzerer Lebenszeiten der Kompartimente (Versuchszeitraum von ca. 5 Jahren) nicht erforderlich.

Die KDB-Kompartimente wurden aus 2 mm HDPE (High-Density-Polyethylen) Kunststoffdichtungsbahnen (HDPE-KDB) errichtet. Aufgrund der besonderen Gegebenheiten des Standortes mussten die HDPE-Folien nicht den Ö-Normen S2073 und B3700 entsprechen. Die KDB-Kompartimente wurden vollkommen dicht für Sickerwasser und, soweit es dem Stand der Technik entsprach, auch für Deponiegas ausgeführt. Die Bauweise wurde so gewählt, dass eine einwandfreie Beprobung von Sickerwasser, Gas und Probenmaterial gewährleistet war. Bei allen vier Kompartimenten wurde die Möglichkeit der Rückverrieselung von Sickerwasser oder anderer flüssiger Stoffe vorgesehen.

2.2 Deponiekompartimente

Es wurden 4 Kompartimente mit den jeweiligen Abmessungen 5 x 5 x 3 m (L x B x H) im westlichen Bereich der Massenabfalldeponie Allerheiligen errichtet. Somit ergab sich ein maximales Volumen von 75 m³ pro Kompartiment (vgl. Abbildung 2.2). Als Stütze dienten Holzschalungen in der Größe der Kompartimente. Dieser Abschnitt des Deponiegeländes ist mit einer Basisasphaltabdichtung versehen, wodurch eventuell austretende Sickerwässer aus der Modelldeponie vom bestehenden Sickerwassersammelsystem aufgenommen werden konnten.

2.2.1 Schweißverfahren

Bei normalen Schweißnähten wurde eine Doppelnaht angewendet. In Ecken und bei Rohreinbindungen wurde die Extrusionsnaht verwendet. Eine Prüfung der Nähte, wie sie bei Abdichtungen regulärer Deponieabdichtungen vorgesehen ist, wurde durchgeführt und ein Schweißprotokoll verfasst.

2.2.2 Anschlüsse am Kompartiment

Auf die Oberflächenabdichtung des jeweiligen Kompartiments wurde im Zentrum ein Rohr mit DN 250 PN 6 angeschweißt, um das anfallende Gas zu sammeln und um die für die Rückverrieselung erforderlichen Leitungen an die Oberfläche zu führen. Im Tiefpunkt der Versuchszellen wurde ein Anschluss zu einem Rohr DA 50 PN 6 angeschweißt, um die anfallenden Sickerwässer im freien Gefälle ableiten zu können. Die Ableitung erfolgte über eine mit Schotter und Kompost überschüttete ca. 9 m lange Leitung, die an ihrem freien Ende mit einem gasdichten Kunststoffkugelventil verschlossen wurde.

2.2.3 Sickerwasserrückverrieselung

Im Kompartiment wurde innerhalb der oberen Drainageschotterschicht (über dem Geotextil) eine Rohrleitung zur Rückführung der Sickerwässer eingebaut. Die Durchführung dieser Ringleitung nach außen erfolgte durch ein Anschlussstück im vertikal angebrachten Rohr DA 250 PN 6. Dieser Anschluss wurde mit einer handelsüblichen Schlauchkupplung versehen, um die Sickerwässer durch Pumpen in das Kompartiment rückzuführen. Die Ringleitung wurde mit einem biegsamen Schlauch ausgeführt, der aus einem Granulat aus Altreifengummi (70 % Massenanteil) und Polyethylen (30 %) bestand und auch in der landwirtschaftlichen Bewässerung eingesetzt wird. Der Schlauch hat bei einem Druck von $6,0 \times 10^4$ Pa eine definierte Wasserabgabe von $0,002 \text{ m}^3$ pro Meter und Stunde. Durch eine spiralförmige Anordnung konnte eine Länge von ungefähr 50 m pro Kompartiment verlegt werden. Die Schlauchspirale wurde in eine Kiesschicht verlegt, die aus doppelt gewaschenem Deponiekies mit der Korngröße 16/32 bestand und ca. 0,25 m mächtig war. Die Verlegung der Schlauchleitungen erfolgte so, dass eine spätere Beprobung des Feststoffes mittels Kernbohrer durch das vertikale Rohr DA 250 PN 6 nicht behindert wurde. (In der 3. Projektphase gab es infolge der Neigung der Gasbrunnen keine Möglichkeit der Probenahme durch das vertikale Rohr.) Außerhalb der Kompartimente wurde ein Druckregulierventil (bis max. $2 \cdot 10^5$ Pa) vorgeschaltet, der den Anschluss einer handelsüblichen Pumpe ermöglichte. Ein Schmutzfang sollte das Eindringen von Feststoffen und eine dadurch resultierende Verstopfung der Rückverrieselungsleitung vermeiden. Die Kiesschicht wurde durch ein Geotextil (250 g/m^2) vom Probenmaterial getrennt.

2.2.3.1 Temperaturmessung

Pro KDB-Kompartiment wurden vier Temperatursonden (Pt-100 Messfühler) radial um das Zentrum ca. einen Meter tief eingebracht. Die Sonden sollten Aussagen darüber liefern, welche Milieubedingungen in den Kompartimenten vorherrschen. Die Kabel der Sonden

wurden durch das vertikale HDPE-Rohr DN 250 PN 6 an die Oberfläche geführt, wo sie an Handmessgeräte angeschlossen werden konnten.

2.2.4 Sickerwasserdrainage

In der Sohle des Kompartimente wurde eine Drainageschicht aus gereinigtem kalkarmen Deponiekies 16/32 eingebracht. Diese Schicht hatte ebenfalls eine Mächtigkeit von 0,25 m. Diese Drainageschicht wurde mit einem Geotextil vor Verschmutzung durch Feinteile aus dem Probenmaterial geschützt und sollte einen störungsfreien Abfluss des gebildeten Sickerwassers aus dem Kompartiment ermöglichen.

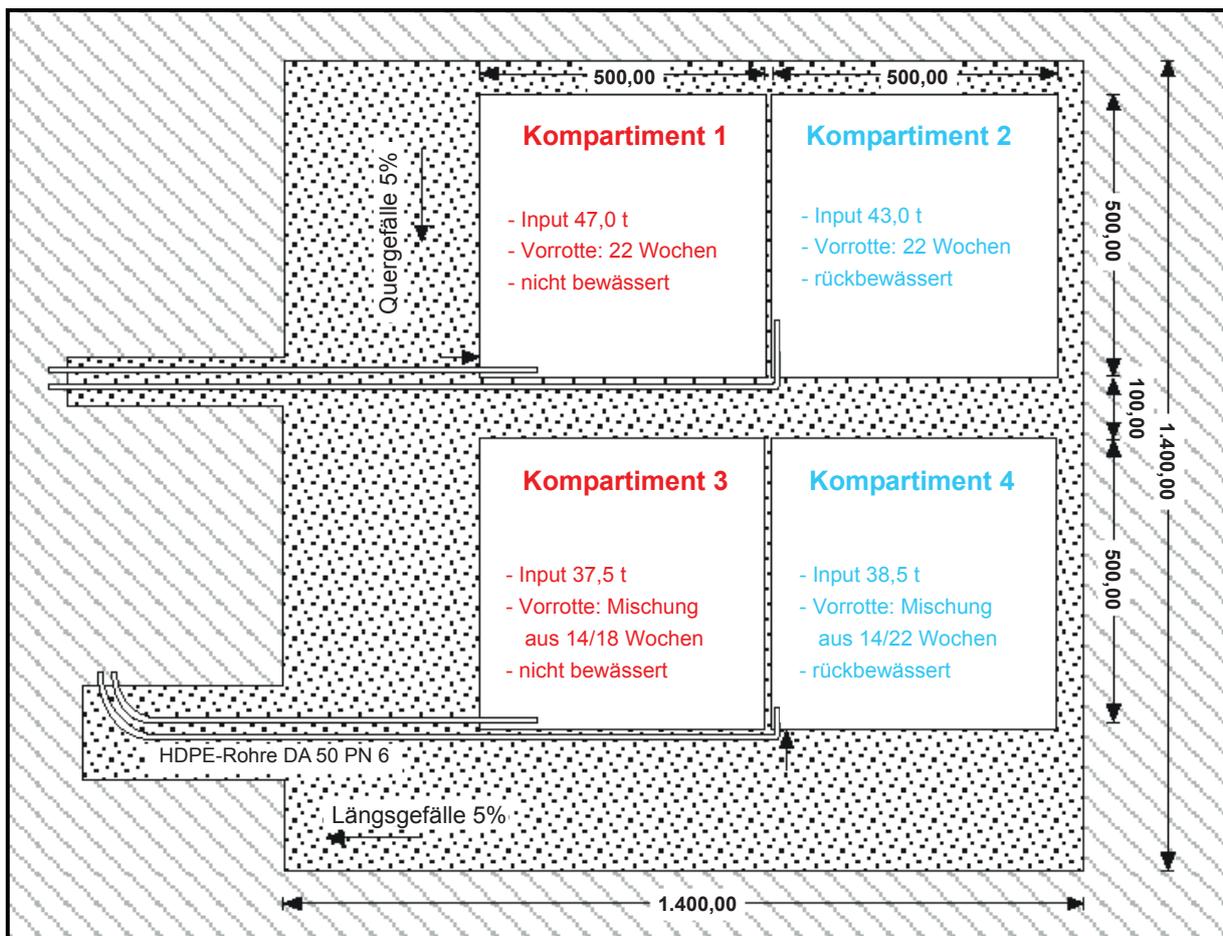


Abbildung 2.1: Grundriss der 4 Versuchskompartimente

In den Kompartimenten 1 und 2 wurde ein hinsichtlich der Vorrottedauer eindeutig definiertes Material eingebracht. In den Kompartimenten 3 und 4 wurde mangels 22 bzw. 18 Wochen vorgerotteten Materials eine Mischung mit 14 Wochen vorgerottetem Material vorgenommen und in die Kompartimente eingebaut.

Der Aufbau der Basisfläche erfolgte schichtweise mit Schotter, Asphaltrecyclingmaterial und Feinsand 0/8 Rundkorn als oberste Schicht. Darauf wurden innerhalb der Holzschalungen HDPE-Bahnen mit einer Stärke von 2 mm verlegt und als Sohle eine 0,25 m mächtige Drainageschicht aus gereinigtem kalkarmen Deponiekies 16/32 aufgebracht. Im Tiefpunkt des Kompartiments wurde ein Anschluss zu einem Rohr DA 50 PN 6 angeschweißt, um die

anfallenden Sickerwässers im freien Gefälle abzuleiten. Die untere Drainageschicht wurde mit einem Geotextil (250 g/m²) abgedeckt, um eine Verschmutzung durch Feinteile aus dem Probenmaterial zu verhindern. Danach wurden die Kompartimente mit mechanisch-biologisch vorbehandeltem Restabfall < 12 mm verfüllt (vgl. Abbildung 2.3 und Abbildung 2.4).

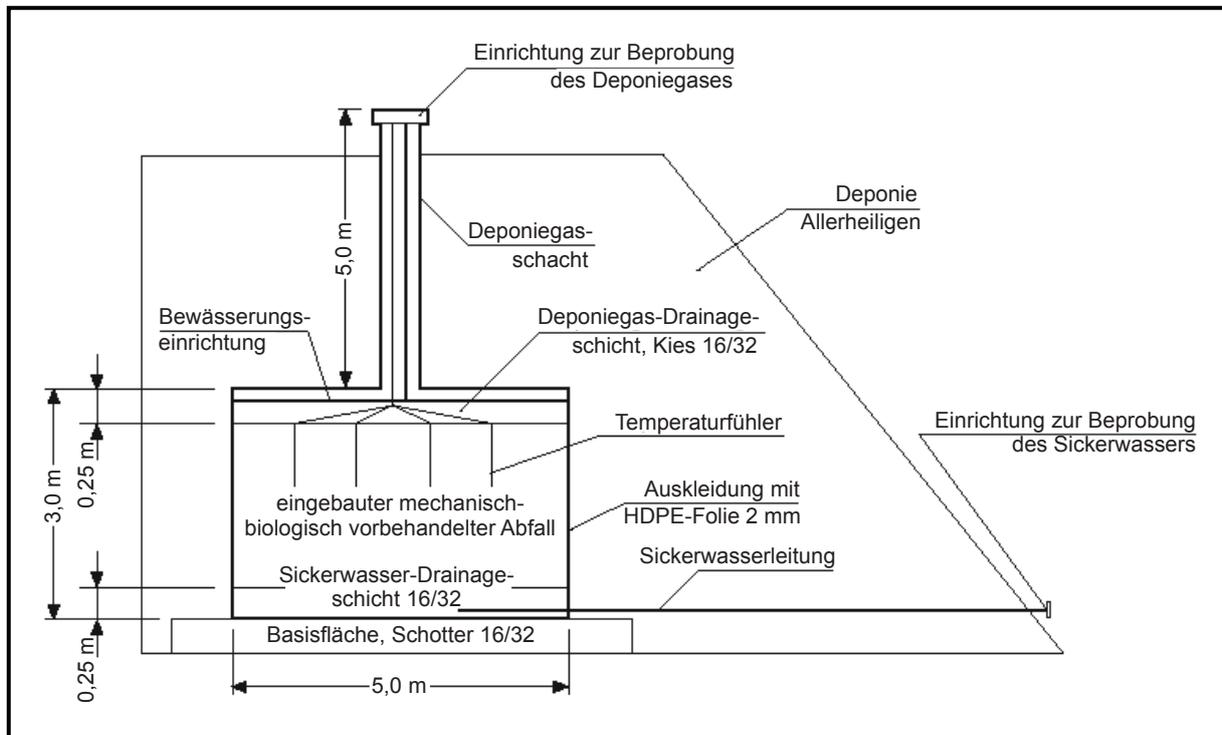


Abbildung 2.2: Detailskizze eines Kompartiments der Modelldeponie Allerheiligen [15]

Anschließend trennt ein Geotextil das Deponiegut von einer darüberliegenden Schicht Deponiekies 16/32 mit einer Stärke von 0,25 m. In diese Drainageschicht wurde eine Schlauchspirale verlegt, die zur Rezirkulation des Sickerwassers diente. Im Zentrum der HDPE-Oberflächenabdichtung jedes Kompartiments wurde ein Rohr DA 250 PN 6 aufgeschweißt, um das anfallende Deponiegas zu sammeln und die Rückverrieselungsleitung von der Oberfläche in die Drainageschicht zu leiten. Zusätzlich wurden pro Kompartiment vier Temperatursonden (Pt-100 Messfühler) radial um das Zentrum ca. einen Meter tief eingebracht, um die vorherrschenden Temperaturen des Abfalls überwachen zu können.

Die Kompartimente wurden anschließend mit einer 5 m hohen Schicht aus Grobkompost der Deponie Allerheiligen abgedeckt, um den Einfluss von jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen der Umgebung auf die Versuchszellen zu verhindern.



Abbildung 2.3: Befüllung der 4 Kompartimente mit Rottegut



Abbildung 2.4: Befüllung der 4 Kompartimente mit Rottegut



Abbildung 2.5: Kompartiment mit Sickerwasserleitungen



Abbildung 2.6: Verfüllung der Zwischenräume

2.3 Untersuchungen zum eingebauten Material

2.3.1 Grundlegende Anmerkung

Es wurde angestrebt, in die 4 Kompartimente der Modelldeponie mechanisch-biologisch vorbehandeltes Material einzubauen, das den Anforderungen der Deponieverordnung (DVO) entspricht.

Aufgrund der Gegebenheiten an der Anlage Allerheiligen, der relativ einfach ausgeführten 16-wöchigen Nachrotte sowie der geringen Flexibilität (Siebschnitte) und Leistungsfähigkeit der vorhandenen Siebanlage, konnte der zum Zeitpunkt der Errichtung der Versuchskompartimente gültige Grenzwert für den oberen Heizwert nach 22 Wochen biologischer Behandlung nur für das abgeseibte Material < 12 mm eingehalten werden. Um die notwendigen Mengen für den Einbau in die Modelldeponie zu erhalten, war es erforderlich, zusätzliches Rottegut zu verwenden, welches lediglich 14 bzw. 18 Wochen biologisch behandelt worden war. Dies hatte zur Folge, dass der obere Heizwert des eingebauten Materials im Mittel bei 6.400 kJ/kg TS lag, was einer Überschreitung des damaligen Grenzwertes von 6.000 kJ/kg TS um knapp 7 % bedeutete. Diese Überschreitung von 7 % lag innerhalb der damals vom VÖEB-Arbeitskreis „Oberer Heizwert“ erarbeiteten Toleranzgrenze [16]. Eine Anhebung dieser Grenze für den Brennwert um das Toleranzmaß von +10 %, wie in der „Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen“ [17] vorgeschlagen, wurde in die Novelle zur Deponieverordnung vom Jänner 2004 eingearbeitet.

Beim Einbau wurde beschlossen, dass das Material trotzdem verwendet wird, wenn die vorgeschlagenen Richtwerte für die biologische Stabilität, gemessen als AT₇, eingehalten werden [18].

Das MBA Outputmaterial wurde auf folgende Parameter untersucht:

- Gesamtschadstoffgehalt gemäß Anhang 1, Tabelle 7 DVO
- Eluatwerte gemäß Anhang 1, Tabelle 8 DVO
- oberer Heizwert
- biologische Stabilität (AT₇; GS₉₀)

Im Folgenden sind die Untersuchungsergebnisse und das verfüllte Probenvolumen dokumentiert. Die Daten basieren auf den Ergebnissen der 2. Projektphase des Pilotprojekts zur MBRVD im Mürzverband – Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen [20]. Auf eine detaillierte Beschreibung der Durchführung von Probenahme, Probenaufbereitung und Analysen wird an dieser Stelle verzichtet, da diese Punkte bereits im Endbericht zur 1. bzw. 2. Projektphase der Modelldeponie ausführlich diskutiert wurden.

2.3.2 Untersuchungsergebnisse des verfüllten Materials

Das Rottegut wurde nach einer biologischen Behandlungsdauer von 14 bis 22 Wochen mittels Trommelsieb bei 12 mm abgeseibt. Vor dem Einbau in die Modelldeponie wurden 9 Sammelproben mit je 10 bis 20 kg (die aus jeweils mindestens 10 Einzelproben je 5 kg mittels Mischkreuzverfahren gewonnen wurden) auf die Parameter Wassergehalt, oberer Heizwert und Atmungsaktivität (nur 7 Proben) untersucht. Zusätzlich wurden für die Mischprobe 9 die Gesamtschadstoffgehalte und Eluatparameter ermittelt und die GS_{90} -Bestimmung vorgenommen. Bis auf die GS_{90} -Untersuchung wurden alle Analysen im umweltanalytischen Labor des IAE durchgeführt. Die Proben wurden 4 Wochen vor dem Einbau des Materials in die Modelldeponie gezogen, sodass aufgrund der freien Lagerung des Rottegutes Veränderungen des Wassergehaltes zu erwarten waren. Deshalb wurde der TS-Gehalt am Tag der Befüllung nochmals bestimmt.

Der H_o -Grenzwert von 6.000 kJ/kg TS wird nur von dem 22 Wochen biologisch behandelten Material unterschritten (Mittelwert 5.800 kJ/kg TS). Nach 18 Wochen wurden durchschnittlich 6.800 kJ/kg TS erreicht, während der Durchschnittswert nach 14 Wochen mit 6.600 kJ/kg TS – trotz um 4 Wochen kürzerer Behandlung – leicht darunter lag. Insgesamt wurde für das Rottegut < 12 mm ein oberer Heizwert von durchschnittlich 6.400 kJ/kg TS ermittelt.

Tabelle 2.1: Wassergehalt, oberer Heizwert und Atmungsaktivität des Probenmaterials (< 12 mm)

Probe	Rottedauer [Wochen]	WG [M.-%]	H_o [kJ/kg TS]	AT_4 [mg O_2 /g TS]	AT_7 [mg O_2 /g TS]	Input Komp.
1	22	24,3	5.800	3,0	4,9	1 + 2
2	22	26,2	5.900	5,6	9,9	1 + 2
3	22	29,7	5.600	3,8	6,2	1 + 2
4	18	27,5	7.000	-	-	3
5	18	21,8	6.600	6,8	12,7	3
6	14	28,9	6.000	7,3	13,2	z.T. 3 bzw. 4
7	14	26,4	7.000	-	-	z.T. 3 bzw. 4
8	14	26,1	6.700	11,9	20,6	z.T. 3 bzw. 4
9 ¹⁾	14 – 22	24,5	6.700	7,5	12,8	Mischprobe
Mittelwert		26,2	6.400	6,6	11,5	

1) aus dieser Mischprobe wurden auch die Gesamtschadstoffgehalte, Eluatwerte und GS_{90} ermittelt.

In der fachlichen Stellungnahme zur Studie „Grundlagen für eine Technische Anleitung zur mechanisch biologischen Vorbehandlung von Abfällen“ [19] wurden für die Atmungsaktivität folgende Grenzwerte vorgeschlagen:

AT₄: 5 mg O₂/g TS

AT₇: 9 mg O₂/g TS

Beide Grenzwerte wurden von den Proben 1 und 3 unterschritten. Die Mittelwerte aus allen Proben überschreiten die vorgeschlagenen Grenzwerte nur geringfügig, was auf die in Kapitel 2.3.1 angegebenen Gründe zurückzuführen ist.

Aufbauend auf den im Juni 1998 herausgegebenen „Grundlagen für eine Technische Anleitung zur mechanisch biologischen Vorbehandlung von Abfällen“ sowie auf detaillierten Grundlagenstudien und unter Berücksichtigung der deutschen „Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen“ (BGBl. I S. 305, ausgegeben zu Bonn am 27. Februar 2001), wurde nach Beratung in Expertenarbeitskreisen gemeinsam mit der Umweltbundesamt GmbH die „Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen“ erarbeitet. Der in dieser MBA-Richtlinie festgelegte Grenzwert für den Stabilitätsparameter AT₄ von 7 mg O₂/g TS wird von den Proben 6 und 9 geringfügig sowie von der Probe 8 deutlich überschritten. Der Mittelwert aller Proben liegt jedoch unter diesem geforderten Grenzwert.

Die Gesamtschadstoffgehalte und Eluatwerte für die Mischprobe 9 sind in Tabelle 2.2 den Grenzwerten der Deponieverordnung gegenübergestellt. Die Grenzwerte werden dabei für alle Parameter deutlich unterschritten.

Tabelle 2.2: Gesamtschadstoffgehalte im Rottegut (Mischprobe 9) und Grenzwerte der Deponieverordnung

Parameter	Einheit	Gesamtschadstoffe	
		Probe 9	Grenzwert
As	[mg/kg TS]	7,5	500
Ba	[mg/kg TS]	550	10.000
Pb	[mg/kg TS]	120	3.000
Cd	[mg/kg TS]	3,2	30
Cr	[mg/kg TS]	372	5.000
Co	[mg/kg TS]	15	500
Cu	[mg/kg TS]	250	5.000
Ni	[mg/kg TS]	330	2.000
Hg	[mg/kg TS]	8,2	20
Ag	[mg/kg TS]	8,7	50
Zn	[mg/kg TS]	1.030	5.000
Summe KW	[mg/kg TS]	3.450	20.000
POX	[mg/kg TS]	0,011	1.000
PAK	[mg/kg TS]	3,8	100

Tabelle 2.3: Eluatwerte im Rottegut (Mischprobe 9) und Grenzwerte der Deponieverordnung

Parameter	Einheit	Eluatwerte	
		Probe 9	Grenzwert
pH-Wert		7,5	6 - 13
ADRS	[mg/kg TS]	25.800	100.000
Cr (IV)	[mg/kg TS]	< 0,05	20
NH ₄	[mg/kg TS]	2.130	10.000
NO ₂	[mg/kg TS]	< 0,5	1.000
CN	[mg/kg TS]	< 0,5	20
F	[mg/kg TS]	15	500
SO ₄	[mg/kg TS]	7.620	25.000
EOX	[mg/kg TS]	0,93	30

Die Untersuchungen der Abteilung für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur ergaben für die Mischprobe 9 der Modelldeponie Allerheiligen folgende, in Tabelle 2.4 dargestellten Analysenwerte:

Tabelle 2.4: Analysenwerte der Gasprognose des Ausgangsmaterials

		Probe	Probe
Analysenwert	Einheit	Ausgangsmaterial 616/1	Endmaterial 616/1*
GS₉₀	[NI/kg TS]	35,2	-
Wassergehalt	[% FS]	24,8	-
Einbauwassergehalt	[% FS]	50,8	47,5
Glühverlust	[% TS]	33,1	29,8
C _{org.}	[% TS]	17,6	-
pH - Wert	-	7,8	-
Leitfähigkeit	[mS/cm]	3,2	-
Ammoniumstickstoff	[mg/kg TS]	1.700	-

Die Proben wurden vom ABF-BOKU im Doppelansatz auf die Gasbildung (Inkubationsversuch über 90 Tage) untersucht. Vom Ausgangsmaterial wurden Wassergehalt, Glühverlust, C_{org.}, NH₄⁺-N, pH-Wert und Leitfähigkeit bestimmt. Die Gasmengen wurden täglich gemessen, die Gaszusammensetzung wurde nicht untersucht. Nachdem die Parallelansätze praktisch ident verliefen, wurde eine Wiederholung nach 35 Tagen abgebrochen.

Der zweite Inkubationsversuch wurde am 2. Februar 1998, nach 96 Tagen Versuchsdauer, beendet.

Die hohe Gasbildung lässt sich auf dieselben Gründe zurückführen wie der erhöhte obere Heizwert in der verwendeten Probe. Fraglich ist auf jeden Fall, ob die Bestimmung einer einzelnen Probe ausreicht, um das Probenmaterial in Bezug auf das Gasbildungspotenzial ausreichend genau zu beschreiben.

Vorschläge bezüglich der Bestimmung des GS₉₀ deuten in die Richtung, dass die Bestimmung nur bei der Erstüberprüfung der MBA durchzuführen ist, da umfangreiche Versuchsreihen zur statistischen Absicherung der GS₉₀-Bestimmung und Untersuchungen zur Korrelation mit dem leichter bestimmbar Parameter GB₂₈ fehlen.

2.3.3 Verfülltes Probenvolumen

Die Kompartimente wurden aufgrund der Verlegetechnik der Folie nicht bis zum oberen Rand der Verschalung gefüllt. Insgesamt konnten 206 m³ (vgl. Tabelle 2.5) an mechanisch-biologisch vorbehandeltem Restabfall verfüllt werden.

Tabelle 2.5: Input in die Kompartimente

Kompartiment	Volumen [m ³]	Schüttdichte Probe 1 [kg/m ³]	Schüttdichte Probe 2 [kg/m ³]	Masse [Mg]
1	51,5	913	913	47,0
2	50,8	846	846	43,0
3	52,0	694	808	37,5
4	52,5	701	835	38,5
Summe	206,8			166,0

Die errechneten Werte stimmen mit den auf der Einfahrtswaage dokumentierten Werten unter Berücksichtigung gewisser Materialverluste beim Verladen und grundsätzlicher Wiegefehler mit ausreichender Genauigkeit überein.

Zur Einstellung der optimalen Bedingungen für die zu erwartenden Reaktionen im abgelagerten Material wurden die Kompartimente nachbefeuchtet, um einen Wassergehalt von 45 Masseprozent einzustellen.

Tabelle 2.6: Einstellung des geforderten Wassergehaltes

Komp.	TS Probe 1* [M.-%]	TS Probe 2* [M.-%]	Soll WG [M.-%]	Wasserzugabe [m ³]	Regenwasser [m ³]	Wasser gesamt [Mg]	Masse [Mg]	Ist- WG [M.-%]
1	60,5	60,5	45	4,62	0,725	23,89	52,4	45,6
2	61,2	61,2	45	4,62	0,725	22,04	48,4	45,6
3	72,9	69,1	45	11,10	0,725	22,36	49,3	45,4
4	70,4	67,2	45	11,10	0,725	23,54	50,3	46,8

*Die TS-Gehalte wurden direkt vor dem Einbau des Materials bestimmt.

3 Chronologie des Projektes

3.1 Projektphase 1 (1996 – 1997)

Die Arbeitsgruppe des IAE hat im Auftrag der Fachabteilung 19D (Abfall- und Stoffflusswirtschaft) - vormals 1C (Abfallwirtschaft) - des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung das Konzept für das „Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband“ ausgearbeitet und wurde mit der Durchführung und wissenschaftlichen Begleitung betraut. In der ersten Projektphase (Frühjahr 1996 bis Sommer 1997), die vollständig von der damaligen Fachabteilung 1C finanziert wurde, sind an der MBA Allerheiligen grundlegende Untersuchungen insbesondere zum Anlageninput, daraus resultierende Auswirkungen auf die MBRVD, Überprüfungen der Leistungsfähigkeit der MBA Allerheiligen und Versuche zur Rückführung und Verarbeitung des Deponiesickerwassers in den biologischen Teil der Anlage durchgeführt worden.

3.2 Projektphase 2 (1997 – 2000)

Aufbauend auf diesen Ergebnissen sind in der zweiten Projektphase, die zu je 50 % von der Steiermärkischen Landesregierung und dem damaligen Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (BMUJF) finanziert wurde, zwei weitere Teilprojekte durchgeführt worden.

Zum einen handelte es sich um die Stoffflussanalyse am Beispiel der MBA Allerheiligen (Sommer 1997 bis Winter 1998), die in der Schriftenreihe des BMLFUW und mit ergänzenden Untersuchungen in der Schriftenreihe Abfall-Umwelt des IAE veröffentlicht wurden.

Zum anderen sollten praktische Untersuchungen zum Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen durchgeführt werden. Dies insbesondere deshalb, weil es noch keine belastbaren Untersuchungen über das Deponieverhalten von MBA-Reststoffen gab, die den Anforderungen der österreichischen DVO entsprachen. Zu diesem Zweck wurden 4 Kompartimente einer Modelldeponie (wie in den vorangegangenen Seiten beschrieben) errichtet und entsprechende praktische Untersuchungen (vgl. Endbericht zur MBRVD – 2. Projektphase [20]) durchgeführt.

Diese praktischen Untersuchungen endeten am 02.05.2000, nach einem Untersuchungszeitraum von 800 Tagen.



Abbildung 3.1: Beginn der Arbeiten



Abbildung 3.2: Errichtung der Stützschalungen



Abbildung 3.3: Thermofühlerkabel im eingebauten Material



Abbildung 3.4: Gasdrainageschicht



Abbildung 3.5: Schlauchverlegung der Rückbewässerungsleitungen



Abbildung 3.6: Verschweißtes Kompartiment



Abbildung 3.7: Befüllte Kompartimente mit Gasdrainageschicht



Abbildung 3.8: Fertiggestellte Kompartimente (ohne Überschüttung)

3.3 Zeitraum ohne Messungen (2000 – 2001)

Aufgrund fehlender Finanzierung und abgeschlossener Projektphase 2 wurden an der Modelldeponie rd. 500 Tage keine Messungen durchgeführt.

Die Modelldeponie konnte weder - so wie im Projekt vorgesehen - gewartet noch beaufsichtigt werden und war nach 18 Monaten in einem überholungsbedürftigen Zustand (vgl. Abbildung 3.9). Im Sommer 2001 wurde die Deponie wieder zugänglich gemacht und es wurden verschiedene Instandsetzungsarbeiten der Versuchs-Infrastruktur durchgeführt.

Die erneute Aufnahme der Messungen begann am 24. September 2001, 1.310 Tage nach Inbetriebnahme der Versuchskompartimente (siehe Projektphase 3).



Abbildung 3.9: Oberflächenbewuchs während der unbeaufsichtigten Phase

4 Projektphase 3

4.1 Überblick

In der dritten Projektphase des Pilotprojekts zur MBRVD im Mürzverband wurde das mittel- bis langfristige Verhalten der mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfälle in der Modelldeponie Allerheiligen weiterverfolgt.

Ziel dieser dritten Projektphase war es, insbesondere solche Untersuchungen durchzuführen, um folgende Datenlage zu verbessern:

- **Ermittlung von Deponiegasmenge und Zusammensetzung:**

Neben der allgemeinen Verbesserung der Datenlage zur mittelfristigen Gasentwicklung sollte vor allem geklärt werden, ob die mittels GS_{90} prognostizierte Deponiegasmenge von 35,2 NI/kg TS unter optimierten Milieubedingungen in den Deponiekompartimenten erreicht werden kann.

- **Ermittlung der Sickerwassermenge und Zusammensetzung:**

Hier ging es primär um die Ermittlung zusätzlicher Daten zu den mittelfristigen Emissionen über den Pfad Sickerwasser. Es gibt zu dieser Thematik bisher kaum österreichische Daten, ein Grund, warum diese Untersuchungen relativ breit angelegt wurden.

Auf die im Verlauf der Messungen aufgetretenen Probleme hinsichtlich der Dichtheit der Versuchszellen sei hier ausdrücklich hingewiesen. Einen Überblick über die durchgeführten Maßnahmen zur Verifikation der Undichtheiten, die einen nicht unerheblichen Einfluss auf die 3. Projektphase hatten, gibt Kapitel 4.2 „Dichtheitsuntersuchungen der Kompartimente“. Nach Rücksprache mit den Auftraggebern wurde die Beprobung im Oktober 2002 aus den oben genannten Gründen eingestellt.

- **Untersuchung des Deponiematerials:**

Nach dem Öffnen der Kompartimente im Sommer 2003 wurde das Material repräsentativ beprobt. Die Analysenergebnisse werden in Kapitel 5 dargestellt und näher erläutert.

4.2 Dichtheitsuntersuchungen der Kompartimente

Da seit Beginn der Messungen an der Modeldeponie Allerheiligen ein kontinuierlicher Rückgang der Sickerwassermengen aus den Versuchskompartimenten beobachtet werden konnte, lag die Vermutung nahe, dass die Folien einzelner Versuchszellen schadhaft sind. Es musste befürchtet werden, dass die Kompartimente aufgrund des beobachteten zu geringen Sickerwasseranfalls Schadstellen (Risse, Lecks) in der Folie aufweisen. Aufgrund dieser Problematik wurden unterschiedliche Prüfmethode zur Lokalisierung dieser Fehlstellen erarbeitet, um das Ausmaß der Beschädigung erkennen zu können.

Im Folgenden seien diese Maßnahmen zusammenfassend dargestellt.

4.2.1 Kamerabefahrung der Gasdome

Bei Wiederaufnahme des Projektes Modeldeponie im Juni 2001 wiesen die Gasdome infolge von inzwischen stattgefundenen Setzungen der Überschüttung sowie durch den Druck des anstehenden Deponiekörpers eine starke Neigung in Richtung der freien Böschungskante auf. Wie aus beigefügten Fotos ersichtlich (vgl. Abbildung 4.1), betrug diese etwa 35° in Bezug auf die Vertikale. Da anzunehmen war, dass sich durch diese starken Verschiebungen große Spannungen in den Schweißnähten des aus zwei Schüssen bestehenden Gasdomes aufgebaut hatten, lag die Vermutung nahe, dass hier eventuell Schäden aufgetreten waren. Um Klarheit über den Zustand der Schweißnähte des insgesamt 5 Meter langen Rohres zu erlangen, wurde am 09. Oktober 2001 eine Kamerabefahrung mit einer Kanalkamera durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde der am Kopf der Gasdome angebrachte Flansch abgeschraubt und die Kamera in das 250 mm HDPE-Rohr eingeführt. Mit Hilfe des in Abbildung 4.2 dargestellten Monitors konnte der Zustand der Schweißnähte sowie die Beschaffenheit der Rohrwände beobachtet werden. Die Befahrung wurde für alle vier Kompartimente in gleicher Weise durchgeführt.



Abbildung 4.1: Richtung Böschung geneigter Gasbrunnen (35° Neigungswinkel)



Abbildung 4.2: Kanalkamera mit Monitor

Ergebnisse der Kamerabefahrung:

Die Rohre wiesen infolge der Spannungsverschiebungen keine sichtbaren Beschädigungen im unteren Bereich, insbesondere an den Verbindungsstellen zu den Kompartimenten, auf. Die Schweißnähte in einer Tiefe von 2,5 m bzw. 3 m, welche die beiden Rohrschüsse

miteinander verbunden, waren durchwegs in gutem Zustand. In Kompartiment 2 konnte ein leichtes Aufklaffen der Schweißnaht zwischen den beiden Schüssen beobachtet werden, dieser kleine Spalt sollte jedoch keinen negativen Einfluss auf die Gasmessungen haben.

4.2.2 Abdruckversuch

Um Aufschluss über die Dichtheit der einzelnen Kompartimente zu erhalten, wurden nacheinander alle 4 Zellen mit Hilfe eines Kompressors mit Druck beaufschlagt. Der Anschluss des Kompressors an das jeweilige Kompartiment erfolgte direkt am Sickerwasser-Austrittsstutzen. Die Förderleistung des Kompressors betrug 500 l/min. Alle 4 Kompartimente wurden 15 Minuten mit Druckluft beaufschlagt. In weiterer Folge wurde das Ventil geschlossen und der Kompressor abgestellt.

Folgende Merkmale wurden beobachtet und aufgezeichnet:

1. Welcher Druck wurde innerhalb von 15 Minuten aufgebaut?
2. Wie groß war der Druck 5 Minuten nach Abschalten des Kompressors?
3. Nach welcher Zeit sinkt der Druck auf Umgebungsdruck ab?

Tabelle 4.1: Abdruckversuch aller Kompartimente

	Kompartiment 1 (unbewässert)	Kompartiment 2 (bewässert)	Kompartiment 3 (unbewässert)	Kompartiment 4 (bewässert)
Einschaltdauer [min]	15	15	15	15
Volumenstrom [l/min]	500	500	500	500
Luftvolumen _{gesamt} [m ³]	7,5	7,5	7,5	7,5
Höchstdruck $p_{\text{Kompartiment}}$ [bar]	0,20	0,30	0,10	0,15
$p_{\text{Komp.}}$ Nach 5 min [bar]	0,15	0,10	0,02	0,07
Zeit bis zum Druckabbau [min]	24	19	12	15
aus Rückbewässerungs- leitung strömt Luft	ja	ja	nein	nein

Aus den gewonnenen Ergebnissen konnten folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Kompartimente 3 und 4 sind vermutlich beschädigt, da kein stärkerer Druck aufgebaut werden konnte. Der rasche Druckverlust nach 5 min bestätigte diese Aussage.
- Alle Kompartimente zeigten am Brunnenkopf Undichtigkeiten, speziell bei höheren Drücken.
- Möglicherweise waren die Rückbewässerungsleitungen in den Kompartimenten 3 und 4 verstopft, da bei Beaufschlagung mit Überdruck keine Luft aus den Leitungen strömte. Durch die Perforation der Bewässerungsleitungen hätte die Luft eigentlich ungehindert strömen müssen.



Abbildung 4.3: Vor dem Abdruckversuch



Abbildung 4.4: **Angeschlossener Druckluftschlauch**

4.2.3 Geophysikalische Leitfähigkeitsmessung – Technischer Bericht [21]

4.2.3.1 Einleitung und Problemstellung

Die Erkundung von Deponien mit geophysikalischen Verfahren stellt seit vielen Jahren eine Standardmethode dar, mit der auf nicht-invasive Art und Weise verschiedene Probleme beim Bau und Betrieb von Deponieanlagen untersucht werden können. Dabei kommen häufig Verfahren zur Anwendung, die elektrische Eigenschaften des Müllkörpers, des Sickerwassers und des natürlichen Untergrundes als signifikante Parameter nutzen. Diese Untersuchungen ergeben ein flächenhaft-räumliches Bild des Müllkörpers, sowohl hinsichtlich seiner Abgrenzung zum Untergrund als auch über mögliche Wegigkeiten des Sickerwassers.

Die aus vier Versuchskompartimenten aufgebaute Modelldeponie Allerheiligen, die seit längerer Zeit vom Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik betrieben wird, kann für solche Untersuchungen als ein absoluter Sonderfall angesehen werden. Die Schwierigkeiten bei der Verfolgung des Sickerwasserweges liegen besonders bei der relativ mächtigen Überdeckung des eigentlichen Messziels, nämlich der vier Kompartimente mit Abfall, sowie in der schwierigen Geometrie. Es konnte jedoch bereits bei der ersten Begehung der Modelldeponie festgestellt werden, dass dieses Problem nur über den Parameter spezifischer elektrischer Widerstand gelöst werden kann.

Als Vorinformation für die Planung der geophysikalischen Untersuchungen wurde ein Abdruckversuch mit Pressluft in allen vier Kompartimenten durchgeführt. Aus diesem Versuch ergab sich, dass die Kompartimente 3 und 4 vermutlich schadhaft sind, weiters ergaben sich Undichtigkeiten an allen vier Brunnenköpfen. Auf Basis dieser Informationen wurde versucht, eine Messtechnik zu entwickeln, die über den Parameter spezifischer elektrischer Widerstand mögliche Sickerwege anzeigen soll, bzw. die es ermöglicht den Weg, den das eingebrachte Wasser nimmt, zu verfolgen.

4.2.3.2 Messtechnik

Seit einigen Jahren steht dem Institut für Geophysik eine Messtechnik zur Verfügung, die für ein solches Widerstands-Monitoring ausgezeichnet geeignet ist. Es handelt sich dabei um die sogenannte Multielektroden-Messtechnik bei der entlang einer beliebigen Auslage bis zu 254 „intelligente“ Elektroden ausgelegt werden, die sowohl als Stromeinspeisung als auch als Potenzialmesselektrode für elektrische Widerstandsmessungen verwendet werden können. Dadurch werden innerhalb kurzer Zeit sehr viele Widerstandsmesswerte registriert, die den zeitlichen Verlauf einer Widerstandsänderung im Untergrund beschreiben.

Im vorliegenden Fall wurde die Auslage so gewählt, dass 28 Potenzial- bzw. Spannungsmesselektroden (E1 - E28) die 4 Kompartimente umfassen. Die Stromeinspeisung erfolgte über eine zentrale Stromelektrode A und über eine Stromfernelektrode B (siehe Abbildung 4.5).

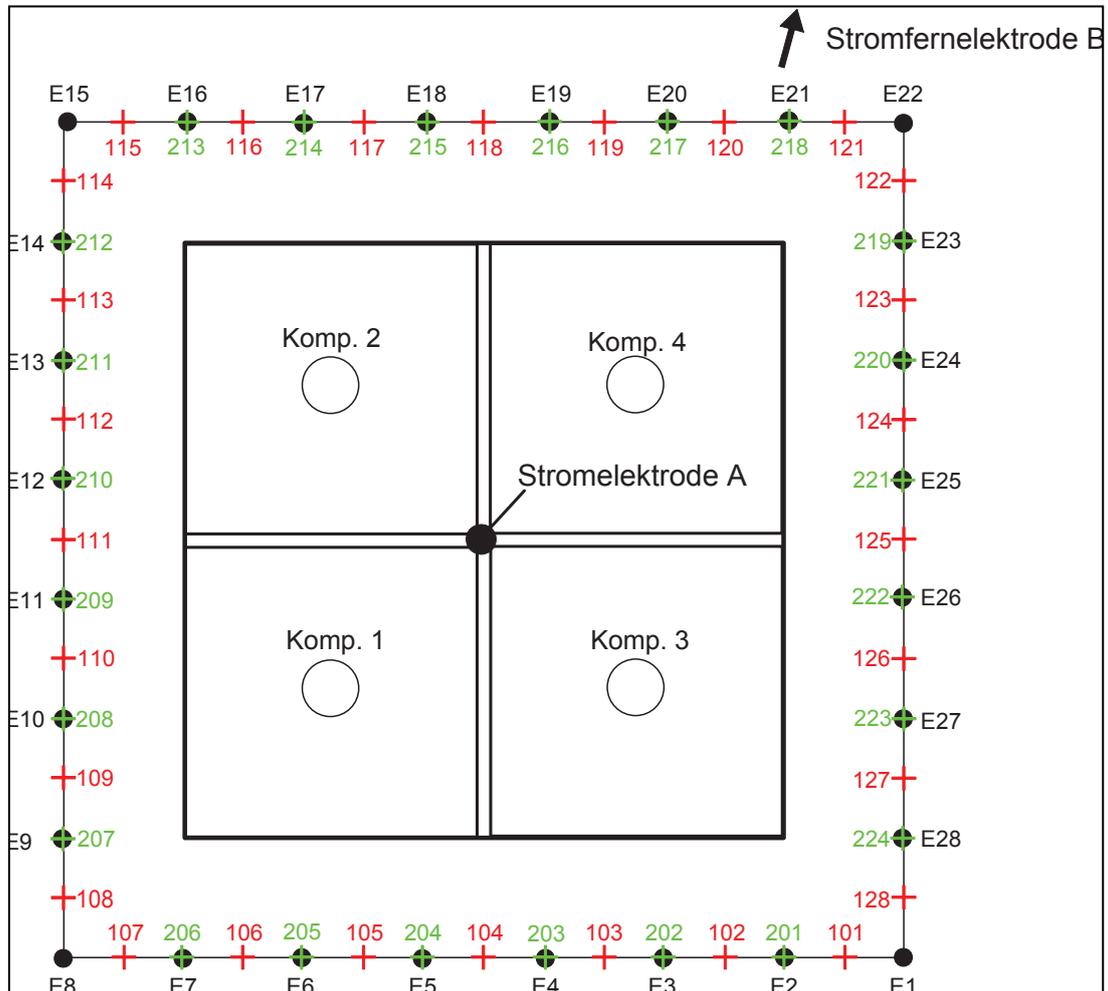


Abbildung 4.5: Messaufbau und Lage der Abbildungspunkte

Durch diesen Aufbau können auftretende Veränderungen des Widerstandes auf allen 4 Seiten des Modellkörpers festgestellt werden, die mit dem Eindringen von Sickerwasser in Zusammenhang stehen.

Die in Rot dargestellten Punkte 101 bis 128 bzw. die in Grün dargestellten Punkte 201 bis 224 zeigen die Abbildungspunkte für diese Aufstellung an, d.h. jenen räumlichen Ort, dem ein Widerstandswert aufgrund der Messgeometrie zuzuordnen ist. Über die Widerstandsänderungen an diesen Abbildungspunkten sollen nun eventuelle Sickerwege des eingespeisten Wassers erfasst und verfolgt werden.

4.2.3.3 Durchführung der Messung

Die Messung auf der ModelIdeponie Allerheiligen wurden am 20.12. und 21.12.2001 durchgeführt. Die Widerstandsverhältnisse vor Beginn der Einspeisung wurden mittels einer Urmessung bestimmt. Danach wurden die Kompartimente 2 und 4 mit jeweils 1.100 Liter Wasser beaufschlagt, wobei zeitgleich mit der Wasserzugabe auch die Kontrollmessungen gestartet wurden. Nach jedem Einspeisungszyklus wurden 10 Kontrollmessungen durchgeführt, dies entspricht einem Beobachtungszeitraum von etwa 6 Stunden (siehe Abbildung 4.6).

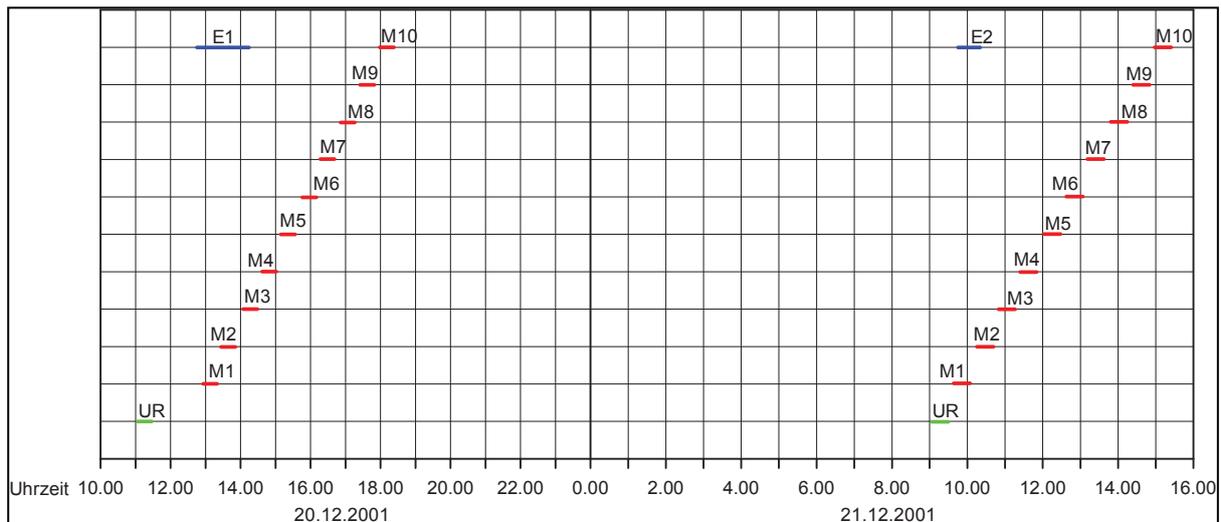


Abbildung 4.6: Zeitlicher Verlauf der Messungen und der Wassereinspeisung

4.2.3.4 Messergebnisse

Die gemessenen Widerstandswerte wurden, wie bereits oben erwähnt, auf die zugehörigen Abbildungspunkte bezogen und in zwei Diagrammen für die Punkte 101 bis 128 bzw. 201 bis 224 dargestellt. Dabei wurde der jeweilige Messwert der Urmessung als 100 %-Ausgangswert angenommen. In den Beilage 1 und 3 werden dadurch Verringerungen des Widerstandes durch eine Abweichung der Messkurve nach unten, Widerstandserhöhungen durch eine Abweichung nach oben angezeigt.

In Beilage 1 sind die Messdaten für den Einspeisungszyklus 1 in Kompartiment 2 dargestellt. In den Bildern A und B ergeben sich jeweils 2 Positionen mit einer stärkeren Abweichung der Widerstände nach unten. Dies sind die Positionen 117 und 125 in Abbildung A bzw. die Positionen 215 und 221 in Abbildung B. Vergleicht man diese mit dem Lageplan so erkennt man, dass sowohl die Abbildungspunkte 117 und 215 als auch die Punkte 125 und 221 unmittelbar benachbart sind. Dies lässt den Schluss zu, dass es sich hier um Bereiche handelt, in die das eingebrachte Wasser fließt.

In Beilage 2 sind die wesentlich komplizierteren Widerstandsverhältnisse für die Einspeisung in Kompartiment 4 dargestellt. In dieser Messung treten wesentlich häufiger Messstörungen auf, so dass in den Abbildungspunkten 110, 117, 125 und 221 die Verringerung des

Widerstandes nur teilweise oder gar nicht beobachtet werden konnte. Grund für diese Störungen sind vermutlich Frosteffekte an den Elektroden (sehr tiefe Nachttemperaturen), wodurch die Ankopplung und somit auch die Messung stärker gestört wird. Es ergeben sich in den Abbildungen A und B jeweils vier Bereiche mit starken Widerstandsverringierungen an den Positionen 103 bzw. 203, 110 bzw. 209, 119 bzw. 215 und 124/125 bzw. 222. Diese Indikationen sind nicht so engräumig wie jene in der ersten Messserie, sie bestätigen jedoch die Indikationen im Bereich 117-119 bzw. 215 und jene bei 124 -125 bzw. 221-222. Als zusätzliche Bereiche mit verringertem Widerstand treten die Positionen 103 bzw. 203 und 110 bzw. 209 auf.

Die Betrachtung des zeitlichen Verlaufs dieser Widerstandsverringierungen ist in den Beilagen 3 und 4 dargestellt. Beilage 3 zeigt das Verhalten des Widerstandes bei der Einspeisung in Kompartiment 2. Der Widerstand sinkt hier bereits während der Einspeisung bzw. kurz danach stark ab (Einspeisung 1 dauert etwa bis zur Mitte der Messung 3), in der Folge steigt er wieder auf einen relativ konstanten Wert an. Die Reaktion des Messsignals auf die Einspeisung erfolgt hier also sehr rasch. Völlig anders sieht dieses Bild bei der Einspeisung in Kompartiment 4 aus. In diesem Falle sinken die Widerstände allmählich ab, dieser Abfall ist nur bei den Messpositionen 110 und 125 stärker. Wie jedoch bereits oben erwähnt, sind die Messergebnisse in diesen beiden Abbildungspunkten jedoch stärker gestört und fallen vermutlich daher etwas aus dem allgemeinen Trend.

4.2.3.5 Interpretation der Ergebnisse

Bei der Interpretation der Ergebnisse dieser Messung ist zu beachten, dass nur der Effekt des aus dem Kompartiment austretenden Wasserstromes auf seine Umgebung erfasst wird und nicht die unmittelbare Leckagestelle im Kompartiment bzw. in der HDPE-Folie selbst. Aufgrund der Indikationsstellen können jedoch Vermutungen angestellt werden, in welchem Bereich die Kompartimente undichte Stellen aufweisen.

Betrachtet man die Beilage 1 (Einspeisung 1, Kompartiment 2), so erkennt man zwei deutliche Indikationen, und zwar eine an der Rückseite (der Deponie zugewandten Seite) der Modelledeponie an den Messpositionen 117 bzw. 225 und eine zweite an der rechten Seite bei den Messpositionen 125 bzw. 221 (Beilage 5). Es ist daher zu vermuten, dass sich in diesem Bereich eine Leckagestelle befindet, wobei die Möglichkeit besteht, dass die Indikation bei 125/221 durch das abströmende Wasser bedingt ist.

Der zeitliche Verlauf der Widerstandsänderungen zeigt ein relativ rasches Absinken der Widerstände schon während bzw. kurz nach der ersten Wassereinspeisung. Dies lässt den Schluss zu, dass der Schaden möglicherweise im oberen Bereich des Kompartiments auftritt, wodurch auch die Sickerwege sehr kurz und direkt sein müssen.

Die Ergebnisse für den ersten Einspeisungszyklus werden durch die Messungen während und nach der Einspeisung 2 in das Kompartiment 4 mehr oder weniger bestätigt. Obwohl diese Messungen stärker gestört sind, können die Indikationen bei 117-119 bzw. 215 und bei 124-125 bzw. 221-222 bestätigt werden. Zusätzlich treten jedoch Indikationen bei 110 bzw. 209 und bei 103 und 203 auf (Beilage 5). Es ist wiederum zu vermuten, dass hier nur der

Effekt der Wässer im Abstrom des Versuchsaufbaues gemessen wird. Da diese Kompartimente auf einer leicht gegen die freie Deponiefläche geneigten Asphaltfläche stehen, besteht die Möglichkeit, dass sich das Wasser im Bereich dieser Asphaltfläche sammelt und in Richtung der freien Seite abfließt. Diese Annahme wird durch das Auftreten einer sehr großen Pfütze vor dem Fuß der Versuchsdeponie praktisch bestätigt.

Der zeitliche Verlauf der Widerstandsverringering in Beilage 4 zeigt einen im wesentlichen regelmäßig abfallenden Verlauf des Widerstandes. Dies spricht auch grundsätzlich für einen „Ausbreitungseffekt“, also für eine allmähliche Verteilung des abströmenden Wassers in dem bei der zweiten Messung bereits stark wassergesättigten Körper.

4.2.3.6 Schlussfolgerungen der Leitfähigkeitsmessungen

Die Schlussfolgerungen aus den geophysikalischen Versuchsmessungen lassen sich in den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Es konnte zweifelsfrei nachgewiesen werden, dass bei beiden Einspeisungszyklen Sickerwasser aus den Müllbehältern austritt.
- Die Widerstandsänderung erfolgt relativ rasch, dies lässt auf direkte Sickerwasserwege schließen. Es kommt also nicht zu einem allmählichen Durchsickern des Kompartiments, sondern zu einer Durchströmung in relativ kurzer Zeit.
- Aus den Messungen ist weiterhin zu schließen, dass sich das ausgetretene Wasser auf der Asphaltfläche unterhalb der Behälter verteilt und nach dem Gefälle abströmt. Diese Annahme wird durch das Auftreten einer großen Sickerwasserpfütze am Fuß der Modelldeponie bestätigt.
- Die angewandte Messtechnik ermöglicht zwar für beide Einspeisungszyklen den prinzipiellen Nachweis einer großen, nachhaltig wirkenden Leckage, lässt aber hinsichtlich der genauen Lokalisierung der Leckagestelle in der HDPE-Folie selbst gewisse Fragen offen.



Abbildung 4.7: Einschlagen der Messpunkte



Abbildung 4.8: Bewässerung von Kompartiment 2



Abbildung 4.9: Datenaufzeichnung

4.2.4 Tracer-Versuch

Um den Verdacht der geophysikalischen Leitfähigkeitsmessungen zu untermauern, wurde im Juni 2002 eine Tracermessung der bewässerten Kompartimente durchgeführt. Die Beaufschlagung mit der Tracerflüssigkeit erfolgte für die jeweils feucht betriebenen Versuchszellen 2 und 4. Für die jeweiligen Versuchstage wurde eine Schönwetterphase gewählt, um den Einfluss auf die Messungen durch Niederschläge zu vermeiden.

4.2.4.1 Kompartiment 2

Um eine große Menge Tracersubstanz binnen kurzer Zeit in das Kompartiment zu pumpen, wurde eine 1.100 Liter Kunststoffonne in unmittelbarer Nähe der Modelldeponie positioniert und mit Wasser befüllt. Während der Befüllung wurde der Tracer zugesetzt, um eine vollständige Homogenisierung und kräftige Färbung zu erreichen.



Abbildung 4.10: Verwendeter Tracer, Versuch 1



Abbildung 4.11: Befüllung und Homogenisierung

Vor der Bewässerung wurden Aufnahmen der Deponiebasisfläche am Fuße der Modelldeponie angefertigt, um die Situation vor und nach der Bewässerung vergleichen zu können.



Abbildung 4.12: offenes Sickerwasserleitungsventil vor der Bewässerung, Komp. 2



Abbildung 4.13: Sickerwasseraustritt, 1 Tag nach Bewässerung

4.2.4.2 Schlussfolgerungen zu Kompartiment 2

Bereits nach einer Beobachtungszeit von 24 Stunden nach dem Beginn des Versuches konnte ein Austreten der Tracerflüssigkeit an der Deponiesohle beobachtet werden. Damit konnten die Ergebnisse aus den Leitfähigkeitsmessungen bestätigt werden, womit eindeutig bewiesen ist, dass Kompartiment 2 Undichtheiten aufweist.

Des Weiteren wurde nach oben genannter Beobachtungszeit ein Austreten von völlig klarer Flüssigkeit mit Tracersubstanz aus der Sickerwasserleitung (siehe Abbildung 4.13) verzeichnet. Dies ließ darauf schließen, dass sich in Kompartiment 2 Sickerwasserwege gebildet hatten, durch welchen das rückverrieselte Wasser beinahe ungehindert durch den Deponiekörper sickern konnte. Damit wurde die Hypothese des extrem hohen Wasserrückhaltevermögens des Müllkörpers in den Versuchskompartimenten widerlegt. Zu diesem Zeitpunkt konnte ein sehr hoher Druck an der Sickerwasserleitung beobachtet werden, was darauf schließen ließ, dass zu diesem Zeitpunkt große Mengen Wasser im Bereich der Sickerwassersammlung am Boden der Versuchszelle anstanden. Am darauf folgenden Bilanzierungstag, dem 26. Juni, konnten lediglich 34 Liter klares, mit Tracersubstanz eingefärbtes Sickerwasser aus dem Kompartiment entnommen werden. Wiederum 2 Wochen später war kein Sickerwasser mehr zu erfassen. Diese Tatsache zeigte anschaulich, dass der Boden des Kompartiments Undichtheiten aufwies.

4.2.4.3 Kompartiment 4

Um eine eindeutige Zuordnung der Sickerwasserwege zu gewährleisten, erfolgte die Tracer-Bewässerung von Kompartiment 4 dreizehn Tage nach der Bewässerung von Kompartiment 2.



Abbildung 4.14: Schlauchleitung zum Kompartiment



Abbildung 4.15: „Tracer-Strahl“



Abbildung 4.16: Vorplatz nach der Bewässerung



Abbildung 4.17: gelbe Sickerwasserfahne (links)

Die Vorgehensweise war ähnlich wie bei den Messungen für Versuchszelle 2 am 13.06.2002. Es wurde ebenfalls ein Zeitraum von 24 Stunden festgelegt, nach dem mit den Beobachtungen begonnen wurde.

4.2.4.4 Schlussfolgerungen zu Kompartiment 4

An der Deponiesohle wurde wiederum ein beträchtliches Austreten der Tracerflüssigkeit beobachtet (siehe Abbildung 4.17), womit auch die Undichtheit des Kompartiments 4 bestätigt wurde. Aus der Sickerwasserleitung dieser Versuchszelle konnte bereits nach 24 Stunden ein Austritt von Sickerwasser festgestellt werden. Die Färbung der Flüssigkeit war im Gegensatz zu Kompartiment 2 dunkel und durch den Tracer grünlich gefärbt, was auf eine bessere Durchströmung des eigentlichen Müllkörpers hinwies. Der Druck an der Sickerwasserleitung 4 war anfangs stark, was auf eine große Menge Sickerwasser hindeutete. Für die Sickerwasserbilanz wurde wie bei Versuchszelle 2 ein Intervall von zwei Wochen eingehalten, wobei am Bilanzierungstag lediglich 33 Liter erfasst werden konnten. Seit diesem Tag konnte aus Kompartiment 4 kein Sickerwasser mehr erfasst werden, was den Schluss zuließ, dass auch diese Versuchszelle Undichtheiten im Basisbereich aufwies.

4.2.5 Kamerabefahrung der Sickerwasserleitungen

Um schlussendlich auch ausschließen zu können, ob nicht etwa die Sickerwasserleitungen aus den einzelnen Kompartimenten schadhafte Stellen aufwiesen, wurde im Oktober 2002 eine Kamerabefahrung mit der Kanalkamera des Mürzverbandes durchgeführt.

Die Fahrt der Kanalkamera wurde dabei über einen Monitor mitverfolgt und mit einem Videorekorder aufgezeichnet.

4.2.5.1 Schlussfolgerungen zur Kamerabefahrung

Es konnten bei keinen der vier Sickerwasserleitungen schadhafte Stellen festgestellt werden. Zwar wurden helle Verkrustungen beobachtet, es gab jedoch keine negativen Beeinträchtigungen auf die Funktion der Leitungen. Das ursprüngliche Gefälle in Richtung Deponieböschung war aufgrund von Setzungserscheinungen des gesamten Deponiekörpers nicht mehr einwandfrei gegeben. Dieser Umstand konnte durch Bildung von Wassersäcken in den Tiefpunkten der Sickerwasserleitungen erkannt werden.



Abbildung 4.18: Monitor der Kanalkamera



Abbildung 4.19: Kanalkamera



Abbildung 4.20: Einführen der Kanalkamera



Abbildung 4.21: Zählleinrichtung Kanalkamera

4.3 Durchgeführte Messungen

4.3.1 Gas- und Sickerwasserbeprobungsplan

Für die Probenahme und Analyse von Gas und Sickerwasser war folgender Beprobungsplan vorgesehen, der jedoch aufgrund der bestätigten Undichtheiten der Kompartimente für das Medium Sickerwasser ab Oktober 2002 nicht mehr weitergeführt wurde:

36 Proben im Abstand von ca. drei Wochen ab Beginn der Untersuchungen.

Für die Gasbeprobung war an jedem Messtag die Bestimmung folgender Komponenten vorgesehen:

- Methan
- Kohlendioxid
- Sauerstoff
- Schwefelwasserstoff

Aus dem anfallenden Sickerwasser wurde im Zuge der Bestimmung des Volumens eine repräsentative Probe gezogen. Vor Ort wurde das Sickerwasser auf folgende Parameter untersucht:

- Menge
- pH-Wert
- Leitfähigkeit
- Temperatur

Im Labor des Institutes für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik wurden in unterschiedlichem Umfang (vgl. Tabelle 4.2) zusätzlich folgende Parameter untersucht:

- BSB₅
- CSB
- TOC
- Abdampfrückstand
- Ammonium
- Sulfat
- Schwermetalle (Cadmium, Chrom, Blei, Nickel, Quecksilber, Kupfer, Zink)
- KW
- PAK
- BTX
- AOX

Auf der nächsten Seite gibt Tabelle 4.2 einen Einblick in den Zeitplan der Beprobungen, Messungen sowie den korrespondierenden Untersuchungen.

Tabelle 4.2: Beprobungsplan September 2001 – September 2003

Parameter	IX/01		X		XI		XII		I/02		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII								
	39	-	42	-	45	48	49	51	2	5	8	-	11	-	14	17	20	-	23	26	29	-	32	35	38	-	41	44	47	-	50	53							
Sickerwasser																																							
Menge																																							
pH																																							
Leitfähigkeit																																							
Temperatur																																							
CSB																																							
BSB ₅																																							
TOC																																							
Abdampfdruckstand																																							
NH ₄																																							
SO ₄																																							
Cd																																							
Cr																																							
Pb																																							
Ni																																							
KW																																							
Hg																																							
Cu																																							
Zn																																							
PAK																																							
BTX																																							
AOX																																							
Gas																																							
Menge																																							
CH ₄																																							
CO ₂																																							
O ₂																																							
H ₂ S																																							

Parameter	I/03		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		
	4	-	7	-	10	13	16	-	19	22	25	-	28	31	34	-	37	-	
Sickerwasser																			
Menge																			
pH																			
Leitfähigkeit																			
Temperatur																			
CSB																			
BSB ₅																			
TOC																			
Abdampfdruckstand																			
NH ₄																			
SO ₄																			
Cd																			
Cr																			
Pb																			
Ni																			
KW																			
Hg																			
Cu																			
Zn																			
PAK																			
BTX																			
AOX																			
Gas																			
Menge																			
CH ₄																			
CO ₂																			
O ₂																			
H ₂ S																			

Römische Zahlen: Monate

Arabische Zahlen: Kalenderwochen

Anm.: ab Okt. 2002 Ende der Sickerwassermessungen

Tabelle 4.3: Detaillierter Zeitplan der geplanten Sickerwasserbeprobungen

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di
2001																							
September						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
November				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Dezember						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2002																							
Jänner	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Februar				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
März				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Mai		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Juni						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
August				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
September								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
November																							
Dezember																							
2003																							
Jänner				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Februar																							
März																							
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Mai				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Juni																							
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
August																							
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Oktober																							
November																							
Dezember																							
Sickerwasser																							
Menge, pH, Leitfähigkeit, Temperatur, CSB, BSB ₅ , TOC, Abdampfdruckstand																							
zusätzlich: NH ₄ , SO ₄ , Cd, Cr, Pb, Ni																							
zusätzlich: KW, Hg, Cu, Zn, PAK, BTX, AOX																							

Anm.: ab Okt. 2002 Ende der Sickerwassermessungen

4.3.2 Deponiegas

Aufgrund biochemischer Abbauprozesse von organischer Substanz innerhalb des Deponiekörpers unter weitgehend anaeroben Bedingungen entsteht Deponiegas, welches aus den Hauptkomponenten Methan (CH_4), Kohlendioxid (CO_2), Stickstoff (N_2) sowie den Nebenbestandteilen Wasserdampf (H_2O) und Kohlenmonoxid (CO) besteht. Sauerstoff (O_2) stammt aus der Umgebungsluft (aerobe Eindringzone) und ist nur in geringen Volumsanteilen vorhanden. Deponiegas besteht weiters noch aus einer Vielzahl von Spuren- und Geruchsstoffen (z.B. H_2S , NH_3 , etc.), welche bei unkontrolliertem Austritt aus dem Deponiekörper neben der Explosionsgefahr der Hauptkomponente CH_4 weitere Gesundheitsgefahren bergen.

4.3.2.1 Gasbildungspotenzial

Die Messungen des Gasbildungspotenzials fanden diskontinuierlich statt. Die in einer Messbox untergebrachten und vor Witterungseinflüssen geschützten Messeinrichtungen wurden abwechselnd im Nahbereich der Kompartimente 1 bis 4 aufgebaut und an die Entgasungseinrichtung des jeweiligen Gasdomes angeschlossen. Dabei wurde längstens drei Wochen (siehe Tabelle 4.2) an einem Kompartiment gemessen, wenn es möglich war, wurde jedoch schon nach einer bzw. nach zwei Wochen gewechselt. Davon erwartete man sich einen kontinuierlicheren und dadurch besser darstellbaren Verlauf der Gasproduktion.

Aus den mittels Hitzkugelanemometer ermittelten Gasgeschwindigkeiten (Halbstundenwerte) wurde der Durchsatz [m^3/s] ermittelt und unter Berücksichtigung der Gasfeuchte und Temperatur auf Normbedingungen umgerechnet. Die tägliche Gasproduktion wurde auf Basis der über die Halbstunden-Messwerte ermittelten Gasmenge berechnet. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in $\text{Nm}^3_{\text{tr}}/\text{Mg TS}$.

Das Gasbildungspotenzial bzw. die kumulierte Gasmenge, also die gesamte gebildete Gasmenge der Kompartimente während des Versuchszeitraumes, zeigte erwartungsgemäß einen unterschiedlichen Verlauf zwischen bewässerten und nicht bewässerten Kompartimenten. Während die bewässerten Kompartimente einen etwas höheren Gasbildungsanteil zeigten (insbesondere Kompartiment 4), haben die unbewässerten Kompartimente eine niedrigere Gasbildungsrate. Auffällig war das sprunghafte Einsetzen der Gasproduktion zu Beginn der Messungen und weiters ein sprunghafter Anstieg der Gasmenge in Kompartiment 4 nach Start der Bewässerung. Des Weiteren war eine erhöhte Gasproduktion im unbewässerten Kompartiment 3 nach Wiederaufnahme der Messungen zu beobachten, welche auf ein Eindringen von Meteorwasser in die Versuchszellen schließen ließ. Eine starke Abnahme der Gasproduktion konnte in diesem Versuchszeitraum nicht beobachtet werden. Die tägliche Schwankungsbreite der anfallenden Gasmengen war zudem auffallend groß.



Abbildung 4.22: Vor-Ort-Messung der Gasmenge

Zellen ohne Sickerwasserkreislaufführung und Nachbewässerung

Nach der rd. 500 Tage dauernden Zeitspanne, in der keine Messungen durchgeführt wurden, war eine leicht erhöhte Gasproduktion zu beobachten. In Kompartiment 3 wurde anfangs der größte Anstieg verzeichnet. Gegen Ende des Beobachtungszeitraumes wurde ein Absinken der Gasproduktion auf ähnliche Werte wie am Ende der 2. Projektphase verzeichnet.

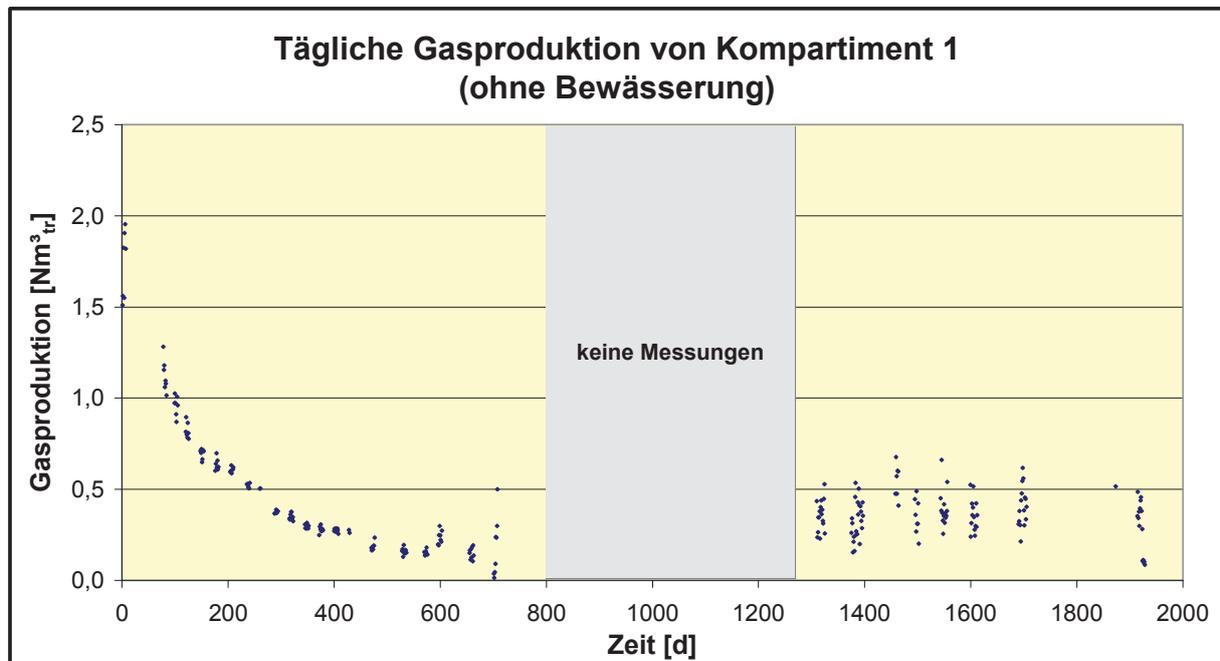


Abbildung 4.23: Gasbildung des Kompartiments 1 (ohne Bewässerung)

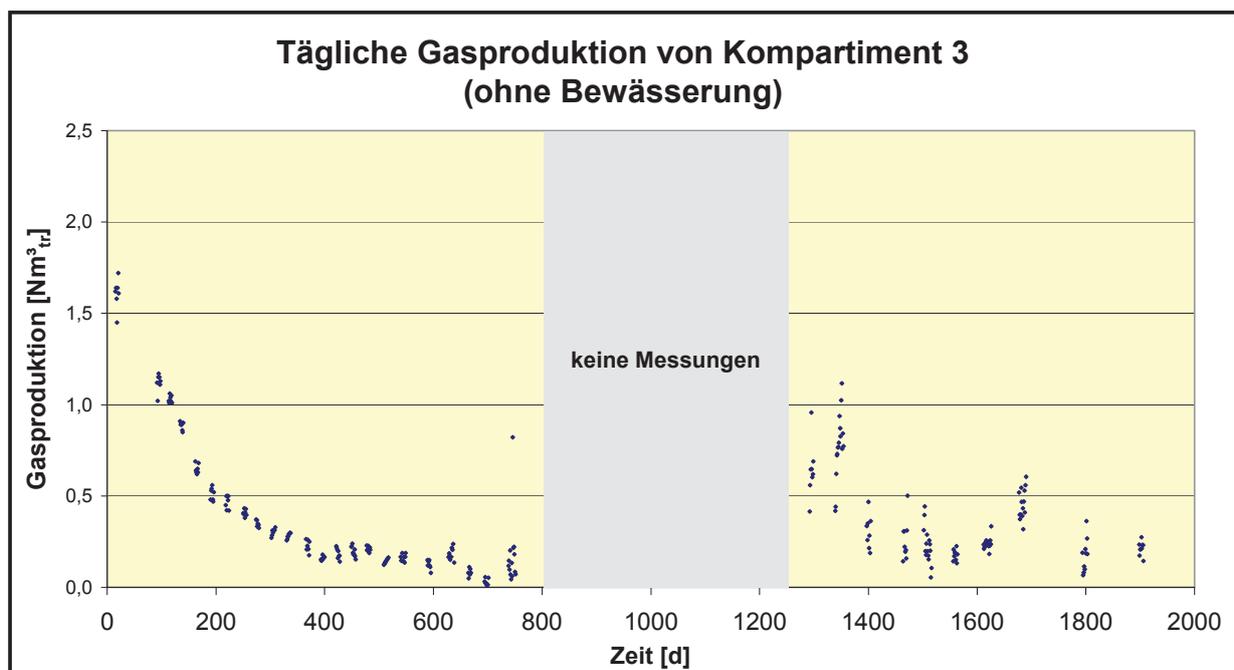


Abbildung 4.24: Gasbildung des Kompartiments 3 (ohne Bewässerung)

Zellen mit Sickerwasserkreislaufführung und Nachbewässerung

Bei den rückbewässerten Kompartimenten wurde nach der messfreien Zeit eine relativ konstante Produktion der täglichen Gasmenge festgestellt. In Kompartiment 4 konnte eine leicht rückläufige Tendenz der Gasproduktion festgestellt werden.

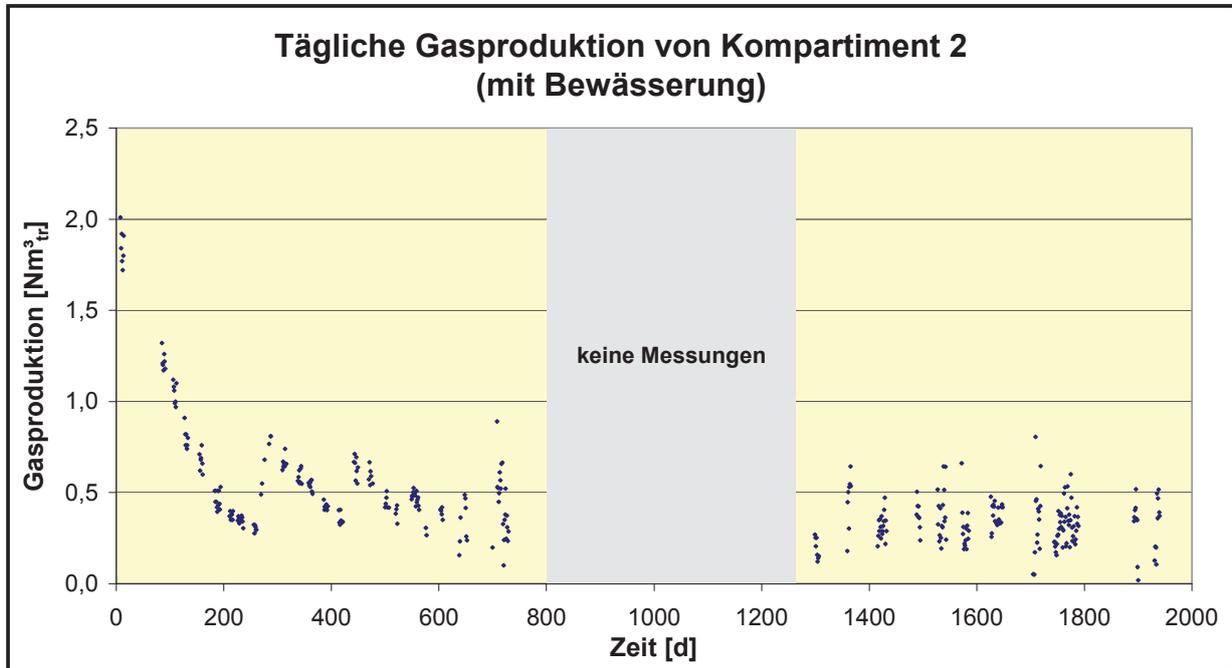


Abbildung 4.25: Gasbildung des Kompartiments 2 (mit Rückbewässerung)

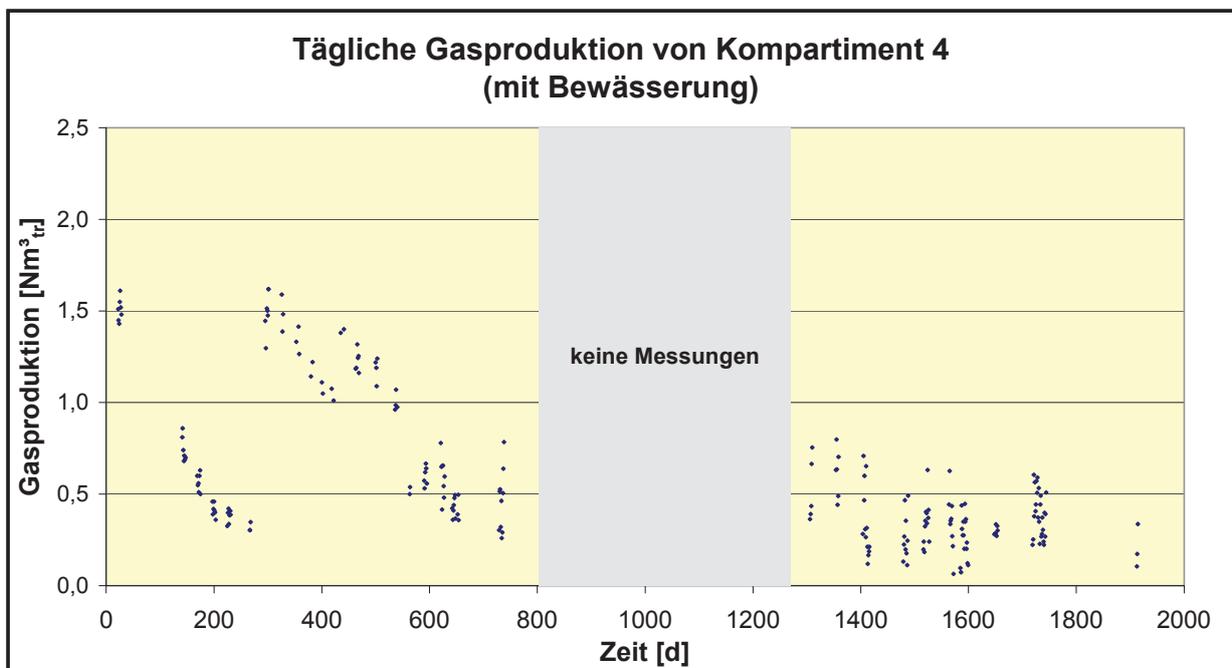


Abbildung 4.26: Gasbildung des Kompartiments 4 (mit Rückbewässerung)

Die Daten in Abbildung 4.27 wurden auf Basis der berechneten Halbstundenmittelwerte potenziell interpoliert. Dabei wurden die vorhandenen Daten von Tag 1 der Messung bis Tag 1.950 miteinbezogen.

Dabei lautet die Gleichung für die Gasproduktion im unbewässerten Kompartiment 1:

$$y = 2,0574x^{-0,2789}$$

Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 0,2876$

Für das unbewässerte Kompartiment 3 lautet die Gleichung:

$$y = 1,5402x^{-0,2524}$$

Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 0,0569$

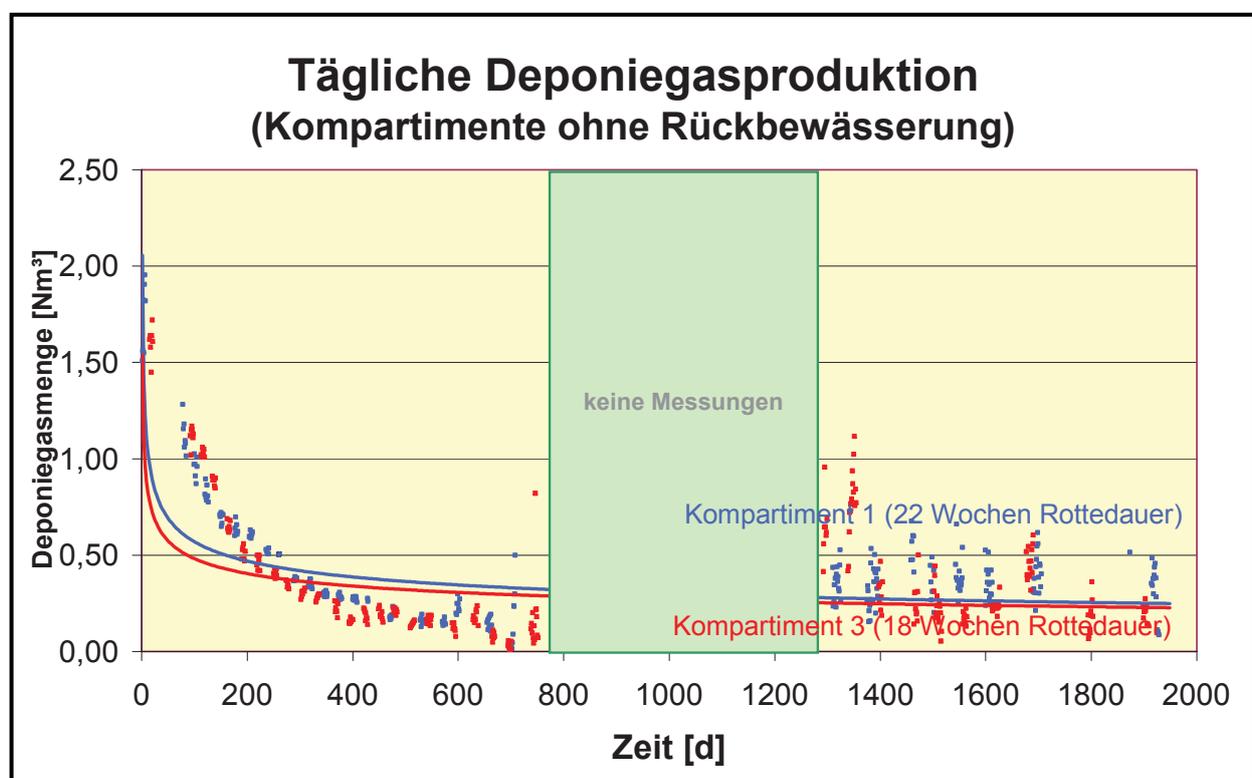


Abbildung 4.27: vereinfachte Interpolation der Deponiegasmenge (Komp. 1 & 3)

Beide Kompartimente zeigen bei der Wahl der gleichen Interpolationsparameter einen sehr ähnlichen Verlauf der Gasproduktion. Die Schwankungsbreite der Gasproduktion, vor allem von Kompartiment 3, war jedoch beträchtlich.

Die Daten in Abbildung 4.28 wurden auf Basis der berechneten Halbstundenmittelwerte exponentiell interpoliert.

Die Gleichungen für Kompartiment 2 lauten:

$$y = 2,2504e^{-0,008x}; R^2 = 0,9713 \quad \dots \text{bis zum Bewässerungsstart}$$

$$y = 0,5407e^{-0,0004x}; R^2 = 0,179 \quad \dots \text{ab Bewässerungsstart}$$

Die Gleichungen für Kompartiment 4 lauten:

$$y = 1,8428e^{-0,007x}; R^2 = 0,9643 \quad \dots \text{bis zum Bewässerungsstart}$$

$$y = 1,2764e^{-0,0009x}; R^2 = 0,4956 \quad \dots \text{ab Bewässerungsstart}$$

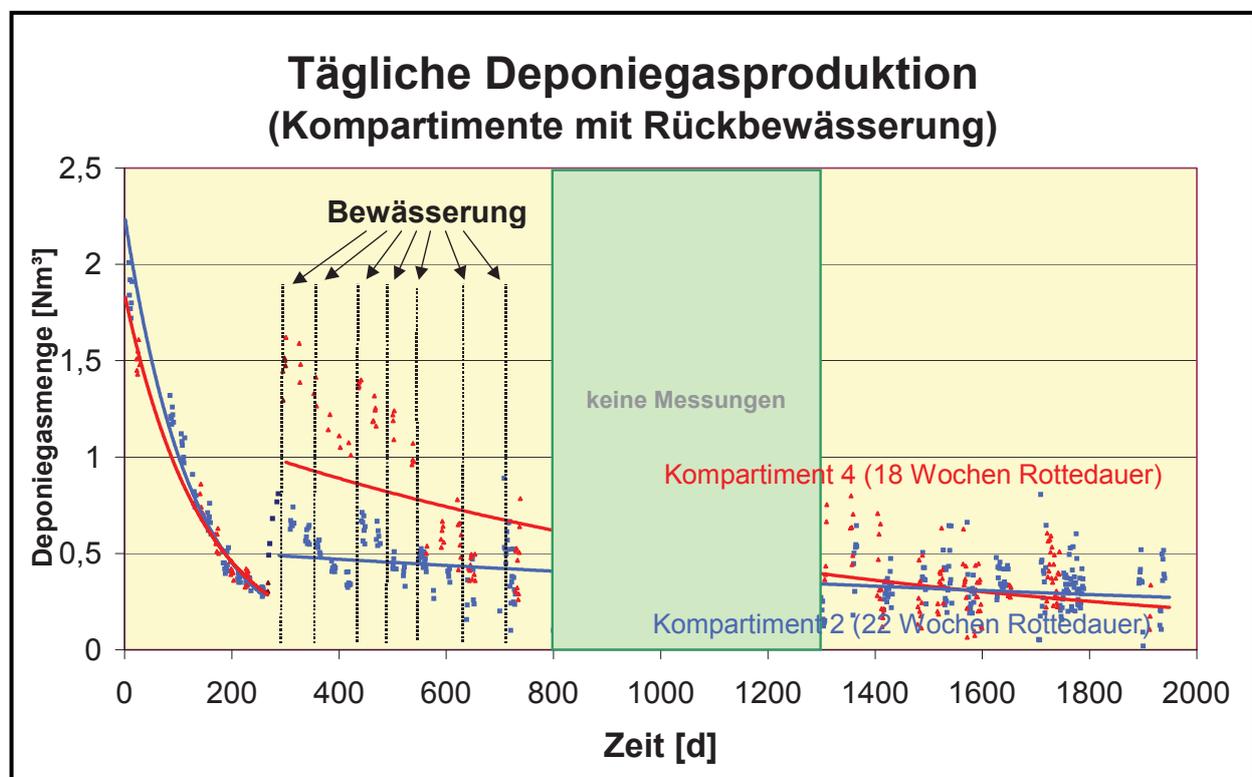


Abbildung 4.28: vereinfachte Interpolation der Deponiegasmenge (Komp. 2 & 4)

Bei Anwendung gleicher Interpolationsparameter für Kompartiment 2 und 4 fällt die höhere Gasproduktion in Kompartiment 4 auf. Auch hier war die große Schwankungsbreite der täglichen Gasproduktion signifikant.

In Abbildung 4.29 wurde die kumulierte Gasmenge aller vier Kompartimente mithilfe exponentieller Regressionen anhand der ermittelten täglichen Gasproduktion errechnet. Da aufgrund der großen täglichen Schwankungsbereiche der Deponiegasproduktion in den einzelnen Kompartimenten eine durchgehende Interpolation vom Messbeginn bis zum Messende nicht möglich war, wurden die ermittelten Messdaten in Teilbereiche zerlegt (von einer Messung eines Kompartiments bis zur nächsten Messung desselben Kompartiments), exponentiell interpoliert und anschließend aufsummiert.

Eine direkte Summation der gemessenen Gasproduktion war aufgrund der bereits erwähnten Tatsache, dass durch die alternierenden Messungen nur ein Viertel der Zeit pro Kompartiment gemessen werden konnte, nicht möglich.

Die beschleunigte Gasproduktion von Kompartiment 4 nach rund 300 Tagen ist mit dem Beginn der Bewässerung gleichzusetzen.

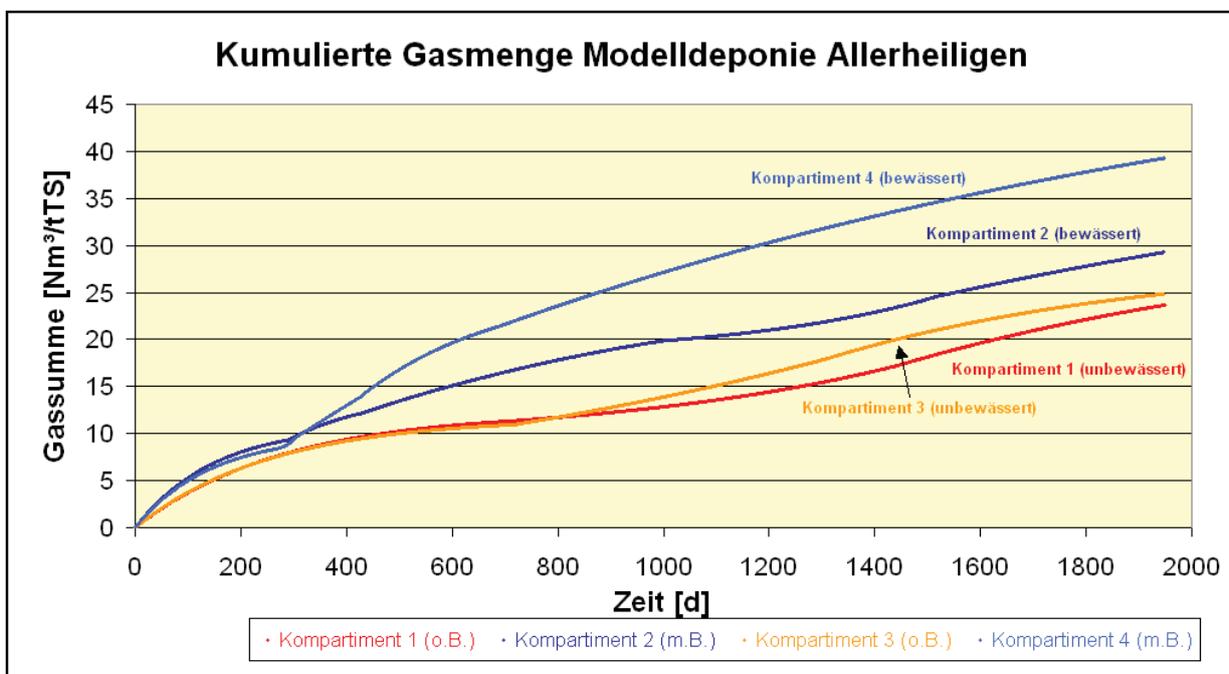


Abbildung 4.29: kumulierte Gasmenge

4.3.2.2 Gaszusammensetzung

Nach den 500 Tagen ohne Messungen wurde ein relativ hoher Anteil an Stickstoff in den Kompartimenten festgestellt, was auf anfängliche Undichtheiten der Gasbrunnen zurückzuführen sein könnte und somit ein Eindringen von Umgebungsluft in die Kompartimente vermuten lässt. Dies geht einher mit einer gleichzeitigen Zunahme von Sauerstoff.

Unbewässerte Kompartimente

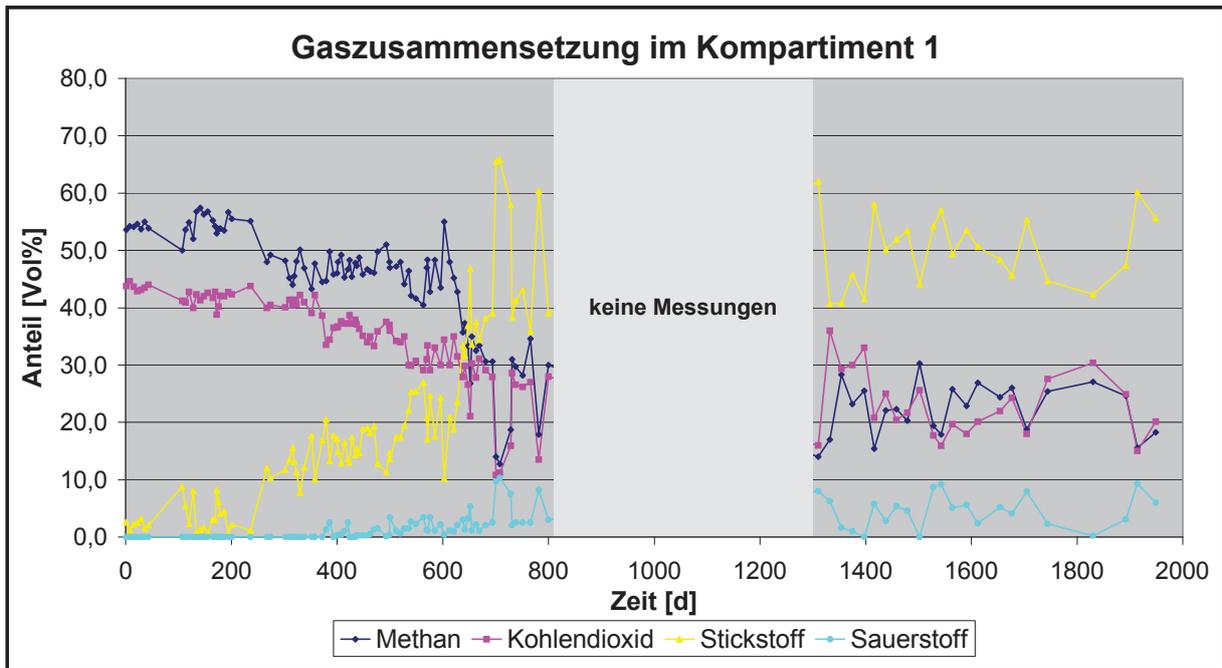


Abbildung 4.30: Gaszusammensetzung für Kompartiment 1

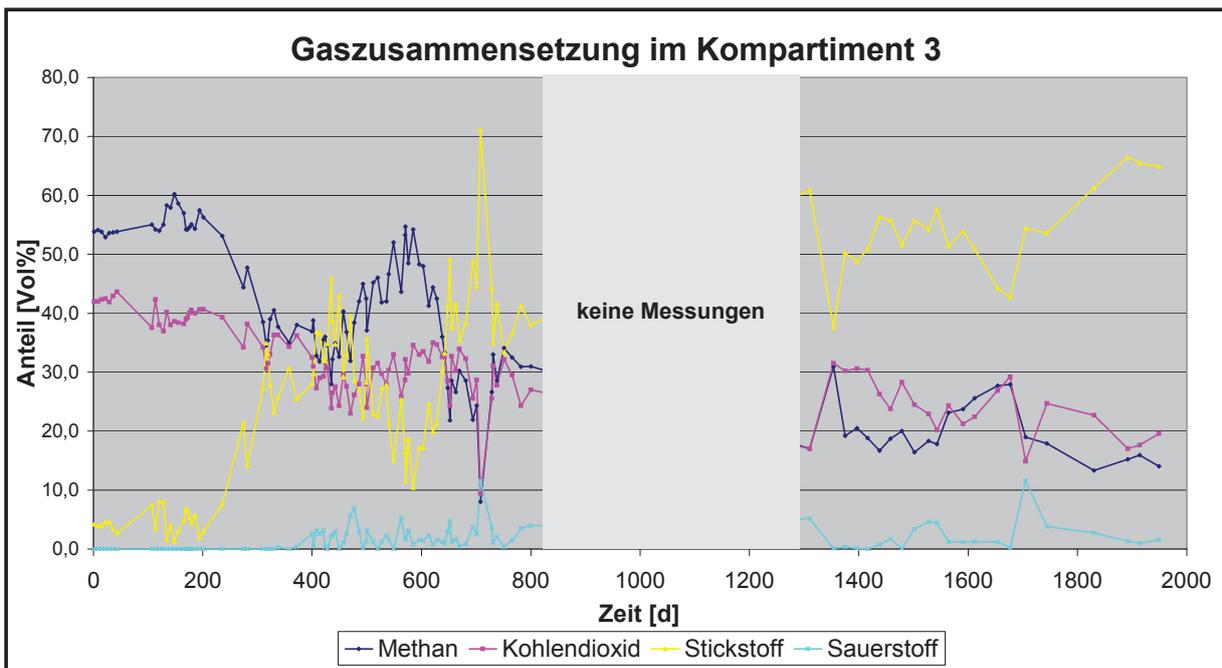


Abbildung 4.31: Gaszusammensetzung für Kompartiment 3

Bewässerte Kompartimente

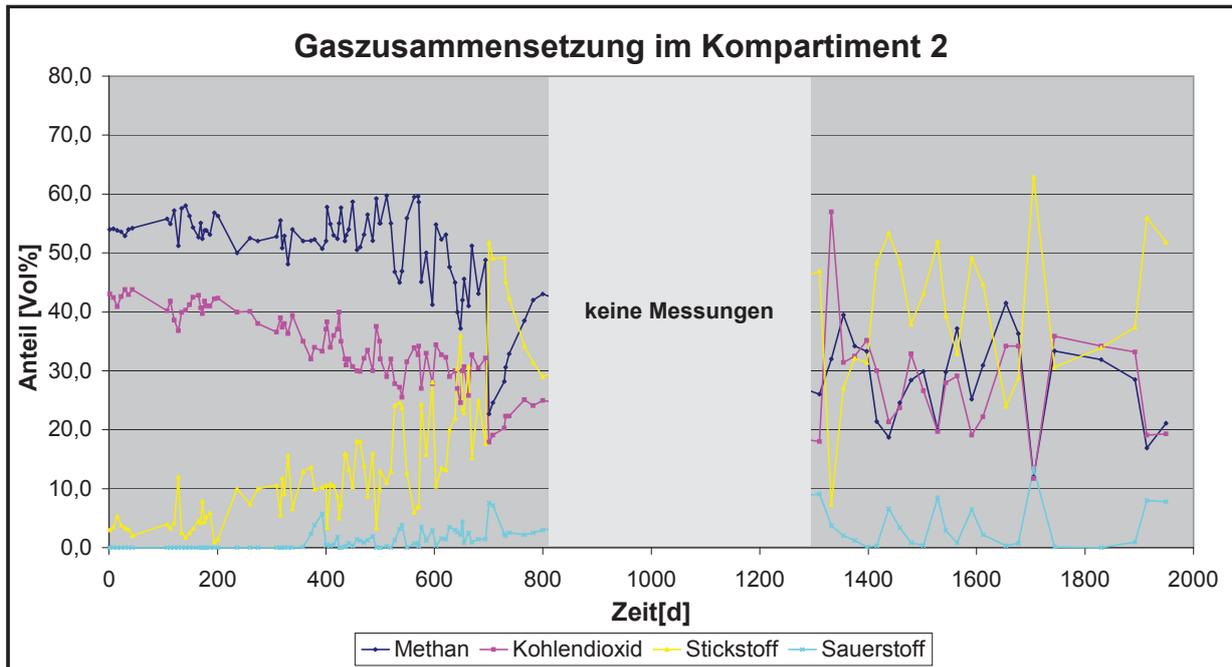


Abbildung 4.32: Gaszusammensetzung für Kompartiment 2

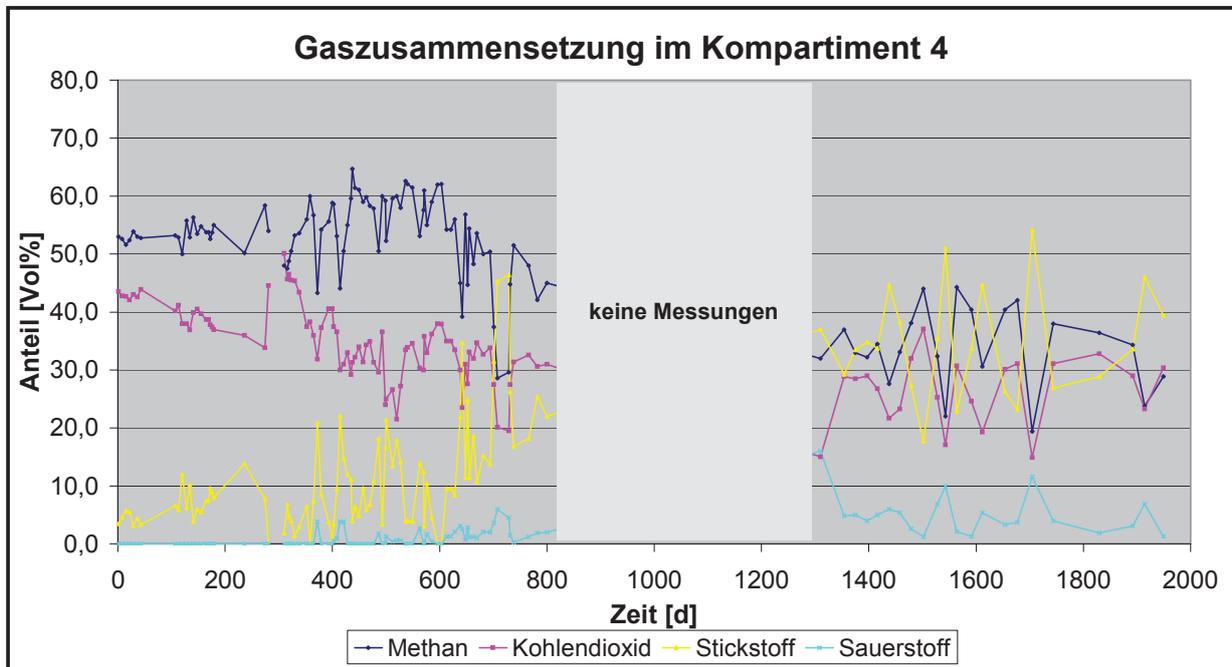


Abbildung 4.33: Gaszusammensetzung für Kompartiment 4

Der Zusammenhang zwischen der Konzentration von Methan und Sauerstoff in den Kompartimenten ist deutlich zu sehen. Vor allem in den rückbewässerten Kompartimenten 2 und 4 ist die umgekehrte Korrelation der beiden Gase schön zu erkennen, bei höherem Sauerstoffanteil sinkt der Methangehalt, bei niedrigerem Sauerstoffanteil steigt der Gehalt an Methan in den Kompartimenten wieder an.

Tabelle 4.4: Entwicklung der Gasqualität

Kompartiment	CH ₄ [%]			CO ₂ [%]			N ₂ [%]		
	1998	2001	2003	1998	2001	2003	1998	2001	2003
1	54	30	20	45	30	20	3	50	60
2	55	30	20	43	30	20	3	45	55
3	60	30	15	43	30	20	4	55	65
4	60	35	30	43	30	30	3	35	45

Der Zusammenhang zwischen der Konzentration von Methan und Sauerstoff in den Kompartimenten ist deutlich zu sehen. Vor allem in den rückbewässerten Kompartimenten 2 und 4 ist die umgekehrte Korrelation der beiden Gase schön zu erkennen, bei höherem Sauerstoffanteil sinkt der Methangehalt, bei niedrigerem Sauerstoffanteil steigt der Gehalt an Methan in den Kompartimenten wieder an.

Tabelle 4.4 zeigt die Entwicklung der Gasqualität vom Versuchsbeginn 1998 bis zur Öffnung der Kompartimente im Juni 2003. Es lässt sich eine deutliche Abnahme der Methan-Konzentration erkennen. Diese Entwicklung zeigte sich auch beim Parameter Kohlendioxid. Gleichzeitig stieg der Anteil an Stickstoff, was auf einen Einfluss von Falschluff bzw. einen unerwünschten Luftzutritt in die Entgasungssysteme der Versuchskompartimente schließen lässt.

4.3.2.3 Verhältnis Methan/Kohlendioxid

Auch das schwankende Methan/Kohlendioxid-Verhältnis in den letzten beiden Versuchsjahren war auf ein Eindringen von Umgebungsluft in die Kompartimente zurückzuführen, wodurch es partiell zu aeroben Bedingungen kam, was zur Folge hatte, dass deutlich mehr CO_2 als CH_4 gebildet wurde.

Unbewässerte Kompartimente

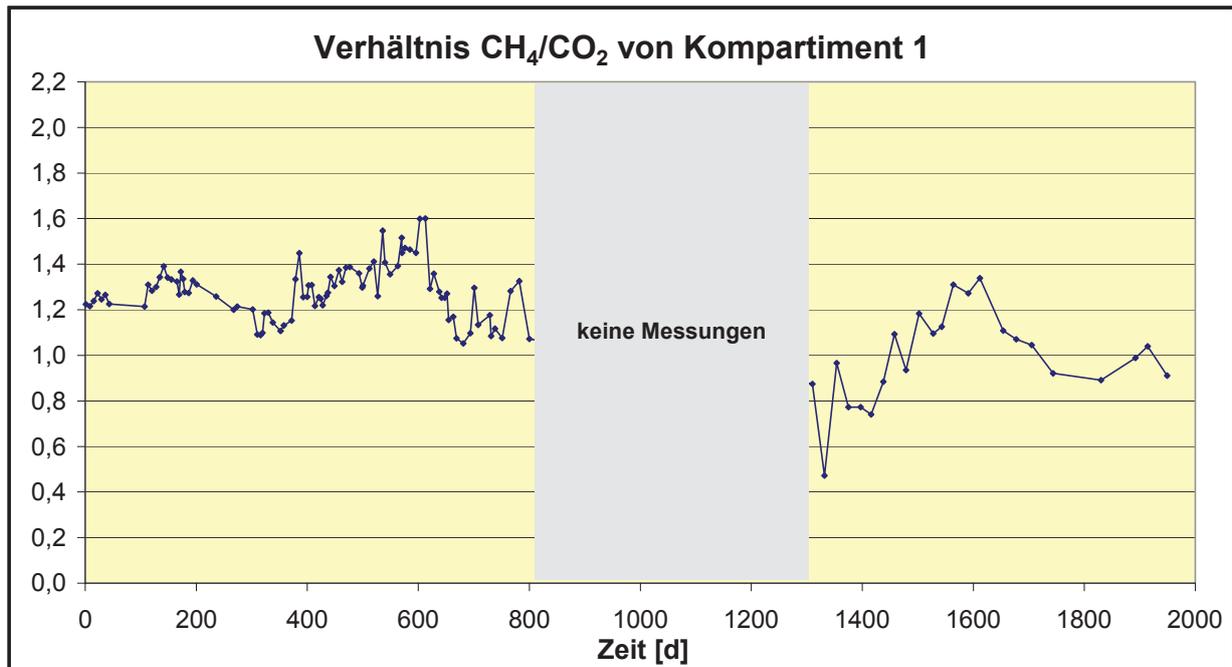


Abbildung 4.34: Verhältnis Methan/Kohlendioxid in Kompartiment 1

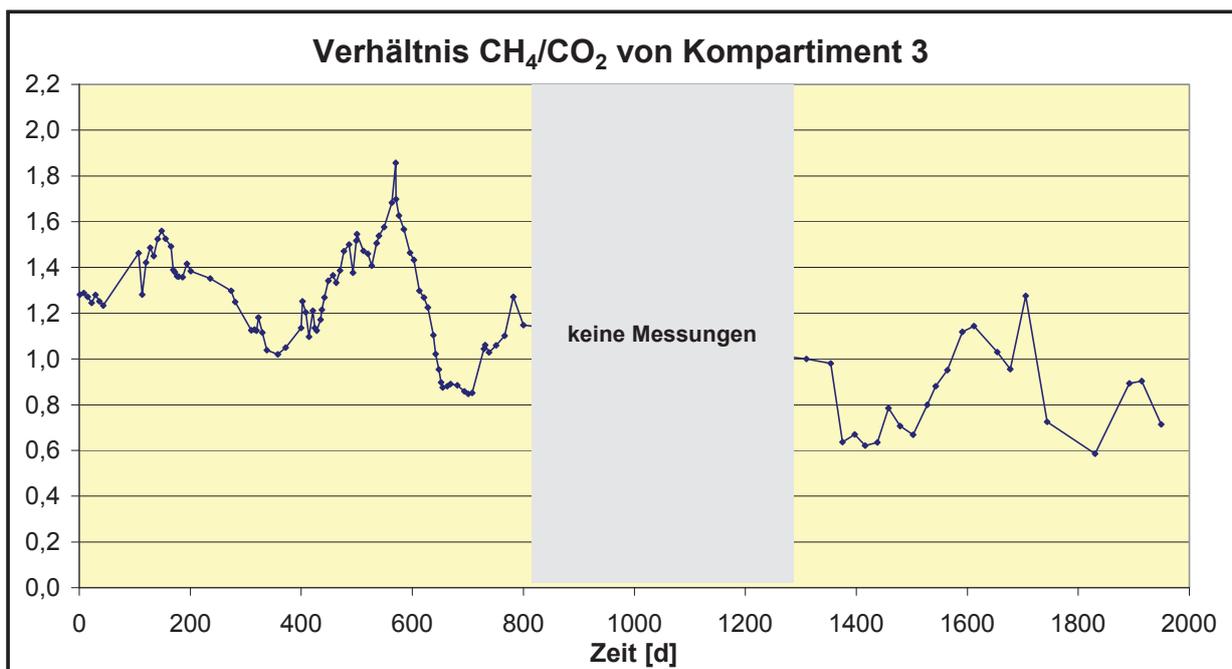


Abbildung 4.35: Verhältnis Methan/Kohlendioxid in Kompartiment 3

Bewässerte Kompartimente

Das sehr niedrige Methan/Kohlendioxid-Verhältnis am Anfang der zweiten Beobachtungsphase kann mit dem Abdruckversuch der Kompartimente erklärt werden, an dem sich kurzfristig ein aerobes Betriebsklima einstellte (Belüftung).

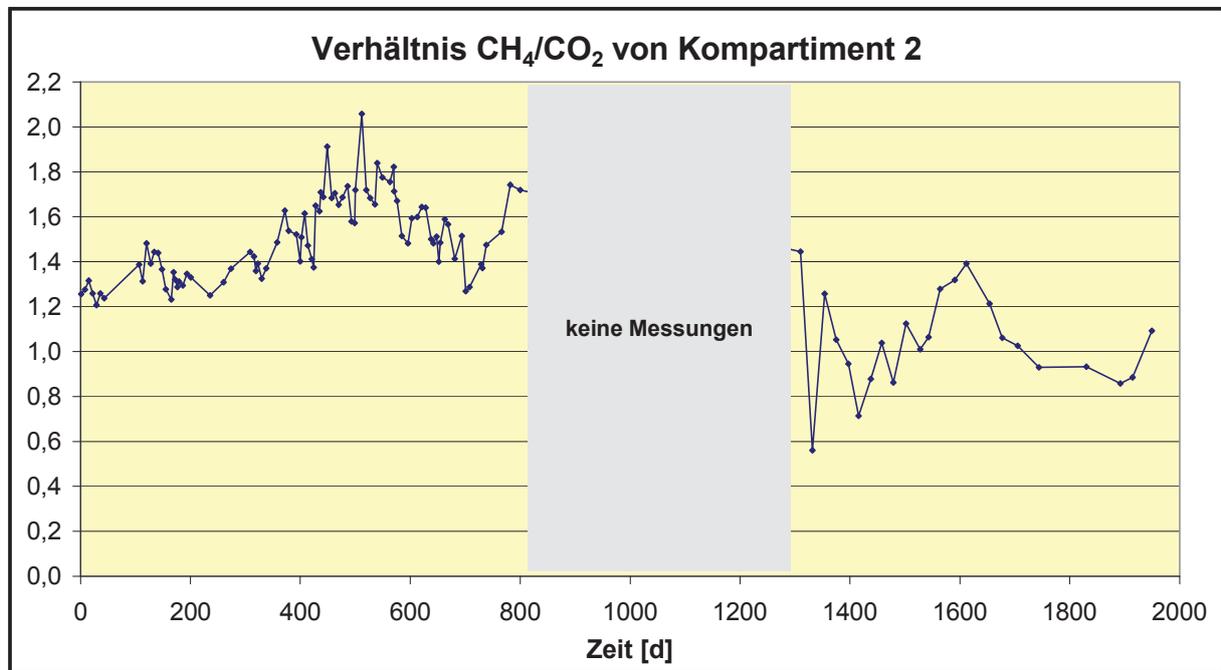


Abbildung 4.36: Verhältnis Methan/Kohlendioxid in Kompartiment 2

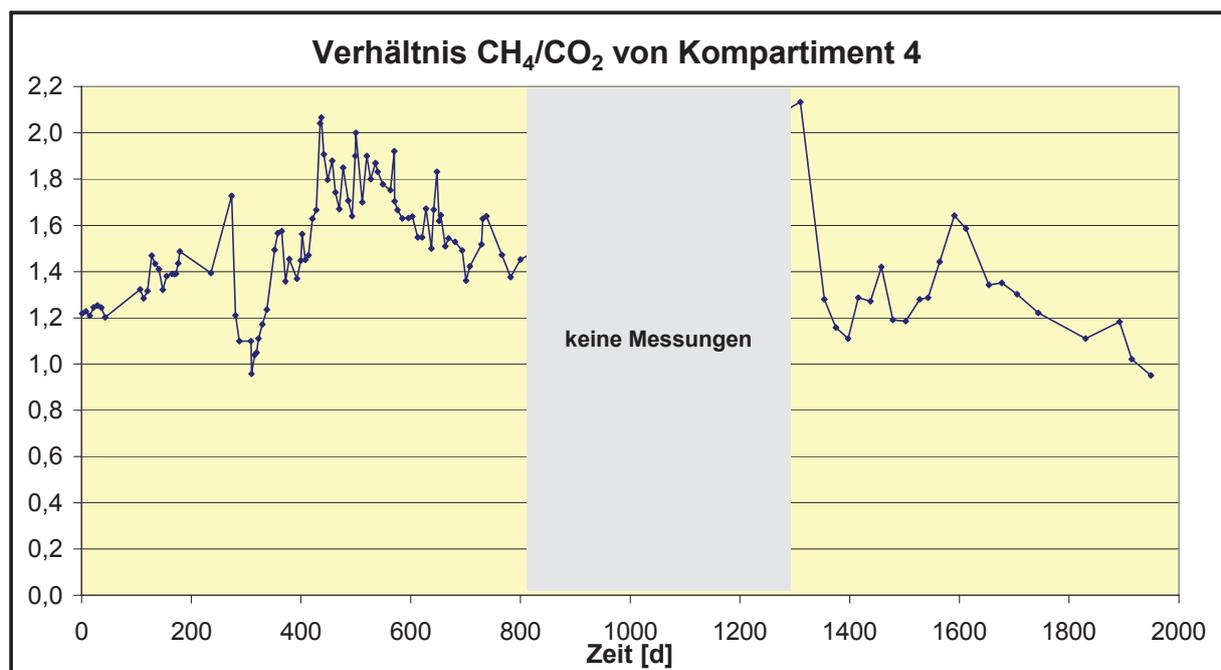


Abbildung 4.37: Verhältnis Methan/Kohlendioxid in Kompartiment 4

4.3.3 Sickerwasser

Laut Deponieverordnung wird Sickerwasser folgendermaßen definiert:

„Deponiesickerwasser ist im Deponiekörper anfallendes Wasser, das insbesondere durch in den Deponiekörper eingedrungenes, infolge von Auslaugungsvorgängen angereichertes Niederschlagswasser, durch belastetes Überschusswasser aus Abfällen mit hohem Wassergehalt und durch infolge von Zersetzungsvorgängen entstandenes Reaktionswasser gebildet wird“ [22].

Entscheidenden Einfluss auf das Verhalten der Stoffe in der Deponie hat neben dem Wärme- auch der Wasserhaushalt. Aus diesem Grund wurden bei den Kompartimenten der Modelldeponie zwei unterschiedliche Betriebsweisen gewählt, einerseits die trockenstabile Ablagerung, andererseits die Befeuchtung des abgelagerten Restmülls in zwei Kompartimenten durch Rückbewässerung und Frischwasserzufuhr.

Die Sickerwasserbilanzen über den Zeitraum der Ablagerung konnten leider nicht erbracht werden und die Beprobung des Sickerwassers wurde aufgrund von Undichtheiten der Kompartimente und nach ausführlicher Diskussion mit den Auftraggebern im Oktober 2002 eingestellt. Der Vollständigkeit halber seien an dieser Stelle die bis dahin gewonnenen Daten jedoch noch einmal dargestellt.

Als Mischprobe I wird im Folgenden eine Sickerwasserprobe aus den unbewässerten Kompartimenten 1 und 3, als Mischprobe II eine Probe aus den rückbewässerten Kompartimenten 2 und 4 bezeichnet.

In Tabelle 4.5 und Tabelle 4.6 auf der folgenden Seite ist die Entwicklung der wichtigsten Sickerwasserparameter seit 1998 aufgelistet.

Nicht rückbewässerte Kompartimente 1 und 3:**Tabelle 4.5: Sickerwasserparameter für nicht rückbewässerte Kompartimente**

Jahr	pH	LF [mS/cm]	CSB [mgO ₂ /l]	TOC [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	Pb [mg/l]	Cr [mg/l]	Cd [mg/l]	Hg [mg/l]	Ni [mg/l]	AOX [mg/l]	BTX [mg/l]
1998	7,3	26,73	13.104	3.750	2.220	0,05	0,24	0,39	0,006	0,41	1,08	3,6	0,012
1999	7,6	30	9.768	2.440	2.210	30,99	0,11	0,31	n.d.	n.d.	1,14	n.d.	n.d.
2000	7,6	24,2	7.352	2.750	2.200	13,1	0,09	0,67	n.d.	n.d.	0,77	n.d.	n.d.
2001	7,4	24,2	5.181	1.732	1.754	5,82	<0,01	0,032	<0,001	<0,001	0,009	0,674	<0,005
2002	7,4	21,1	2.970	1.029	1.486	194	<0,01	0,22	<0,001	<0,001	0,23	0,33	<0,005

Bewässerte Kompartimente 2 und 4:

Hg, AOX und BTX konnten aufgrund des geringen Sickerwasseraustrages im Jahre 2002 für die bewässerten Kompartimente nicht ermittelt werden.

Tabelle 4.6: Sickerwasserparameter für rückbewässerte Kompartimente

Jahr	pH	LF [mS/cm]	CSB [mgO ₂ /l]	TOC [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	Pb [mg/l]	Cr [mg/l]	Cd [mg/l]	Hg [mg/l]	Ni [mg/l]	AOX [mg/l]	BTX [mg/l]
1998	7,3	26,73	13.584	3.750	2.220	0,05	0,24	0,39	0,006	0,41	1,08	3,6	0,012
1999	7,2	27,3	1.987	2.950	2.870	169	0,05	0,55	n.d.	n.d.	1,25	n.d.	n.d.
2000	7,1	11,8	670	1.170	1.680	12,1	0,07	1,39	n.d.	n.d.	2,32	n.d.	n.d.
2001	6,7	4,21	723	223	214	14,7	<0,01	0,013	<0,001	<0,001	<0,004	0,337	<0,005
2002	6,8	5,1	440	155	339	216	<0,01	<0,008	<0,001	-----	0,11	-----	-----

4.3.3.1 Menge

Die relativ starken Schwankungen des Sickerwasseranfalls vor der Stillstandsphase und der sehr geringe Sickerwasseranfall in den bewässerten Kompartimenten 2 und 4 untermauern die Undichtheiten in den Kompartimenten (vgl. dazu Kapitel 4.2).

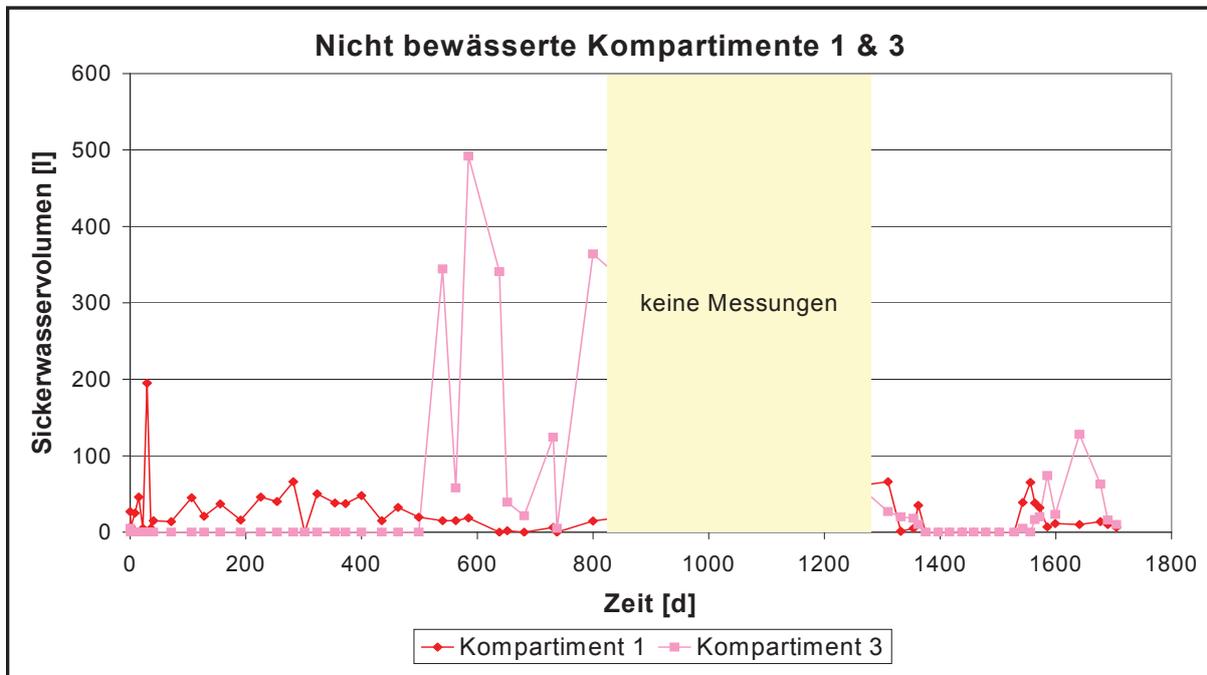


Abbildung 4.38: Sickerwassermenge für nicht rückbewässerte Kompartimente

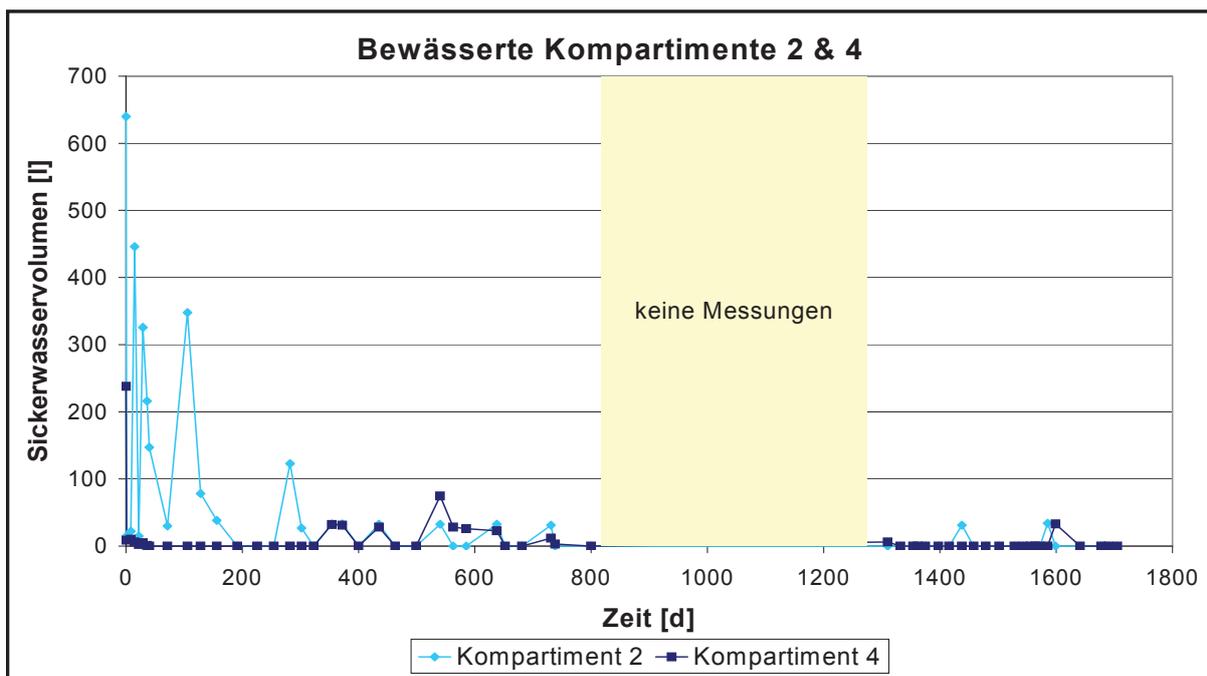


Abbildung 4.39: Sickerwassermenge für rückbewässerte Kompartimente

Tabelle 4.7: Sickerwassermengen

Jahr	Kompartiment	Sickerwassermenge	
		[l]	[l/Mg TS]
1998 - 2000	1 (o.B.)	924	32,4
2001		107	3,8
2002		232	8,2
1998 - 2000	2 (m.B.)	2.666	101,3
2001		0	0,0
2002		65	2,5
1998 - 2000	3 (o.B.)	1.795	67,4
2001		75	2,8
2002		356	13,4
1998 - 2000	4 (m.B.)	529	20,0
2001		6	0,2
2002		33	1,3

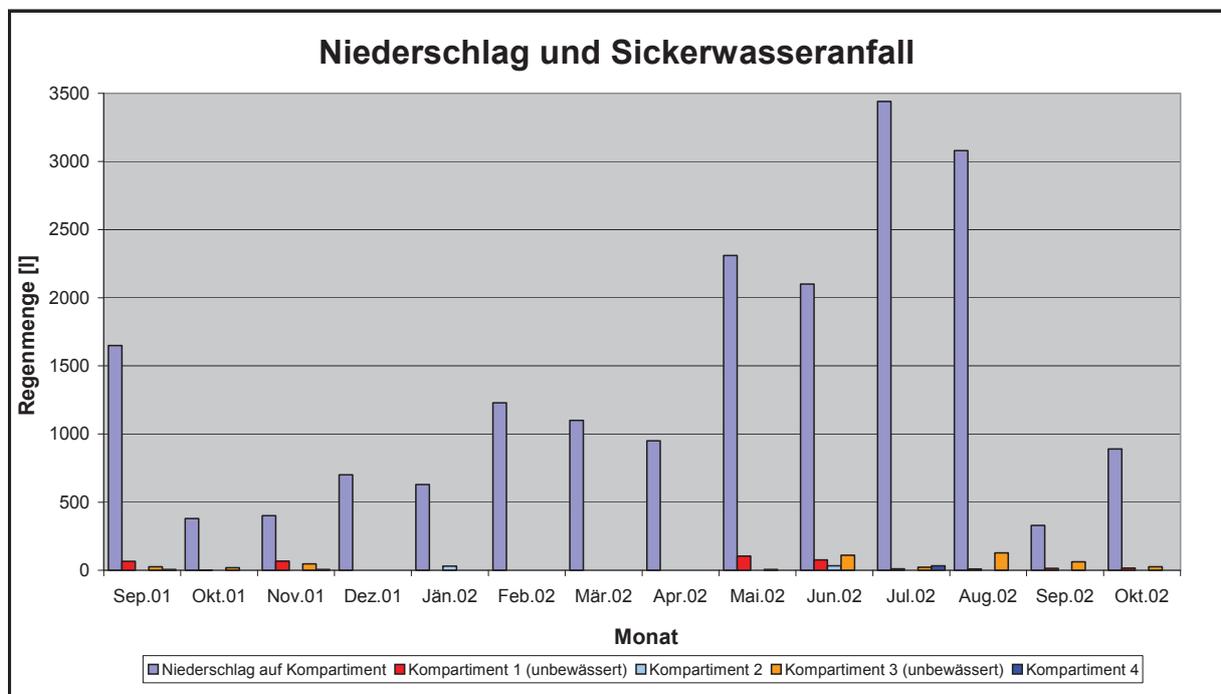


Abbildung 4.40: Niederschlag und Sickerwasseranfall

4.3.3.2 pH-Wert

Der pH-Wert ist signifikant für den Verlauf der Abbauphasen des Deponiegutes. Nach der kurzen aeroben Phase, in welcher der vorhandene Restsauerstoff verbraucht wird, geht das Material in die anaerobe Phase über, wobei die stabile Methanphase durch einen konstanten pH-Wert von über 7 gekennzeichnet ist.

Die pH-Werte für die Kompartimente 1 und 3 blieben gegenüber den Werten vor der Stillstandsphase relativ konstant. Ein Abfallen des pH-Wertes war nur in dem rückbewässerten Kompartimenten zu beobachten.

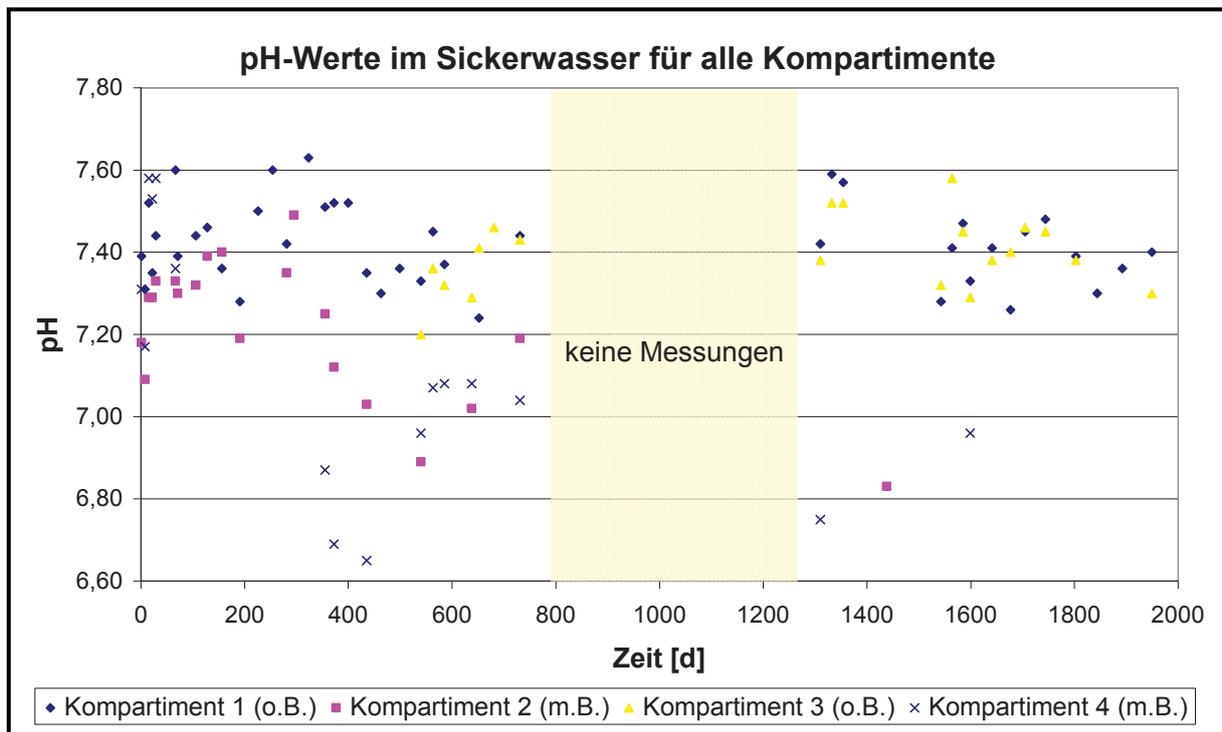


Abbildung 4.41: pH-Werte im Sickerwasser aus allen vier Kompartimenten

4.3.3.3 Elektrische Leitfähigkeit

Die im Wasser vorhandenen Ionen sind für die Höhe der elektrischen Leitfähigkeit verantwortlich. Je höher der gemessene Wert ist, desto höher ist die Konzentration der beweglichen, dissoziiert vorliegenden Ionen. Die elektrische Leitfähigkeit ist daher als Maß für anorganische Stoffe und Salzbildner wie Chlorid, Sulfat, Natrium, Kalium, Hydrogencarbonat, Magnesium und Calcium zu verstehen.

Die Messwerte im Sickerwasser aus Kompartiment 1 und 3 sind relativ stabil und im Bereich 20 - 25 mS/cm. Das rückbewässerte Kompartiment 2 hat seit Beginn der Bewässerung einen Wert zwischen 5 - 10 mS/cm, Tendenz leicht fallend. Der Wert für das rückbewässerte Kompartiment 4 stieg nach der Tracerbewässerung im Juni 2002 auf 15 mS/cm, danach fiel kein Sickerwasser mehr an. Der relativ rasche Abfall der elektrischen Leitfähigkeit zu Beginn der Bewässerung nach Tag 300 ist auf Verdünnungseffekte des Sickerwassers zurückzuführen.

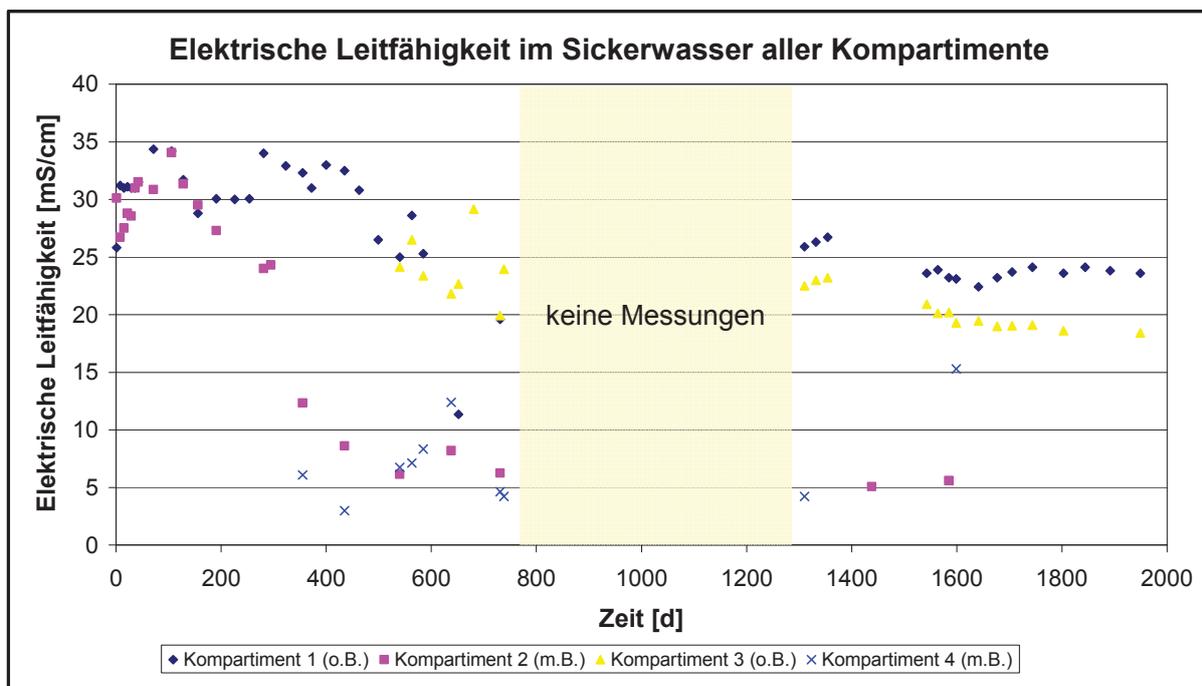


Abbildung 4.42: Elektrische Leitfähigkeit im Sickerwasser aller Kompartimente

4.3.3.4 Temperatur

Die Temperatur ist ein Maß für die mikrobielle Aktivität sowie für die Geschwindigkeit vieler Reaktionen und die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten. Sie kann daher grundlegende Aussagen über vorherrschende Milieubedingungen liefern.

Die Temperaturmessungen der Sickerwasserproben vor Ort ergaben nur eine kleine Streuung von ca. 5 °C. Im Vergleich zu den letzten Messwerten war die Kompartimenttemperatur in der 2. Projektphase noch um über 10 °C wärmer. Dadurch erkennt man die verringerte biologische Aktivität innerhalb der Kompartimente. Durch den geringen Sickerwasseranfall, der sich zum Großteil in den aus den Kompartimenten führenden Rohrleitungen anstaute, konnte ein geringer Einfluss der Umgebungstemperatur beobachtet werden.

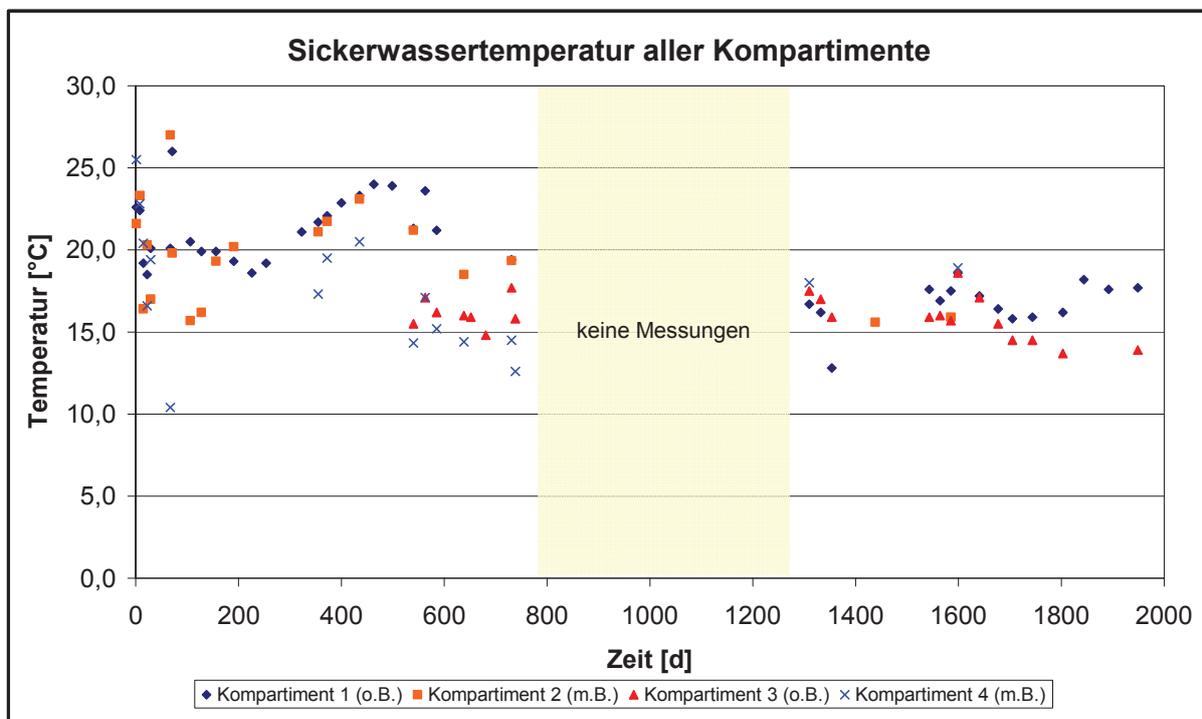


Abbildung 4.43: Sickerwassertemperatur aller vier Kompartimente

4.3.3.5 Chemische und biochemische Parameter

Total Organic Carbon (TOC)

Der TOC ist ein Summenparameter für alle organisch gebundenen Kohlenstoffe und enthält sowohl abbaubare als auch nicht abbaubare Verbindungen.

Während des Monitorings nahm die TOC-Konzentration in den unbewässerten Kompartimenten um etwa 80 % abgenommen. Die rückbewässerten Kompartimente wiesen nur noch 4 % der ursprünglichen Konzentration auf, was auf einen verbesserten Abbau durch die gewählte Betriebsweise und auf Verdünnungseffekte zurückzuführen war.

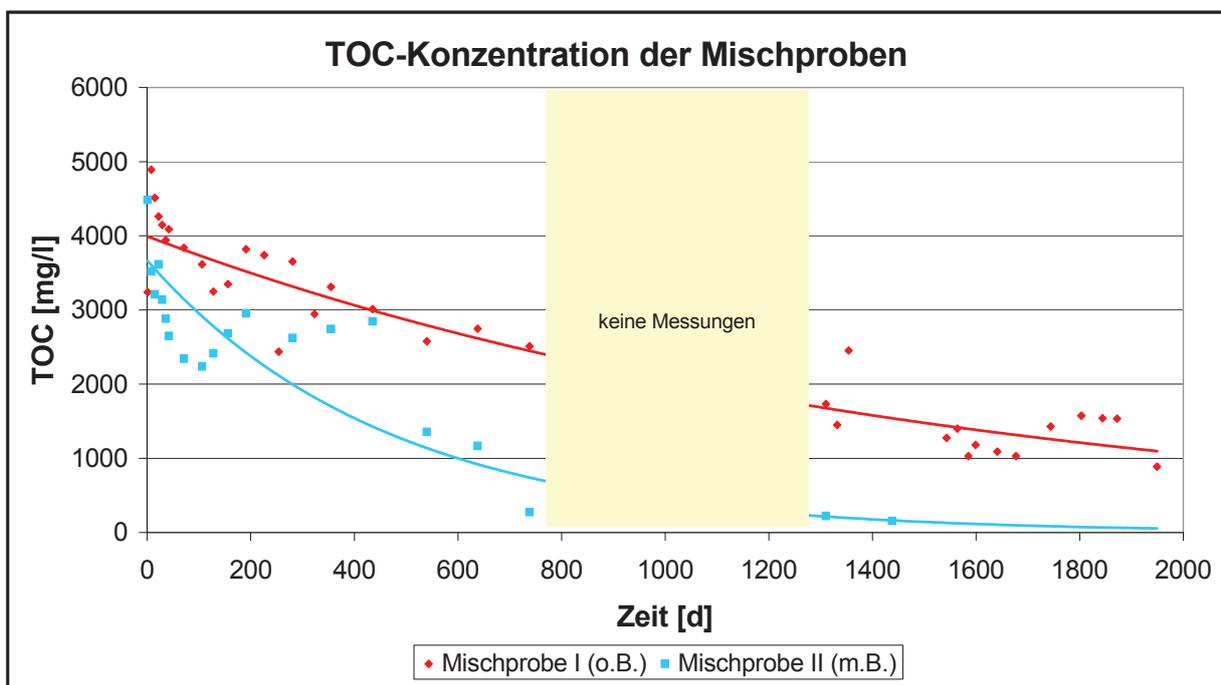


Abbildung 4.44: TOC-Konzentrationen im Sickerwasser

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Der CSB berücksichtigt bei der organisch abbaubaren Belastung auch schwer abbaubare Verbindungen, die von Mikroorganismen nur über lange Zeiträume verstoffwechselt, von Chemikalien jedoch in kurzen Zeiträumen oxidiert werden können.

Die CSB-Konzentration sank während des gesamten Beobachtungszeitraums ab. Während die Konzentrationen in den nicht rückbewässerten Kompartimenten um etwa 85 % zurückgingen, zeigten die bewässerten Kompartimente einen Konzentrationsrückgang von über 95 %.

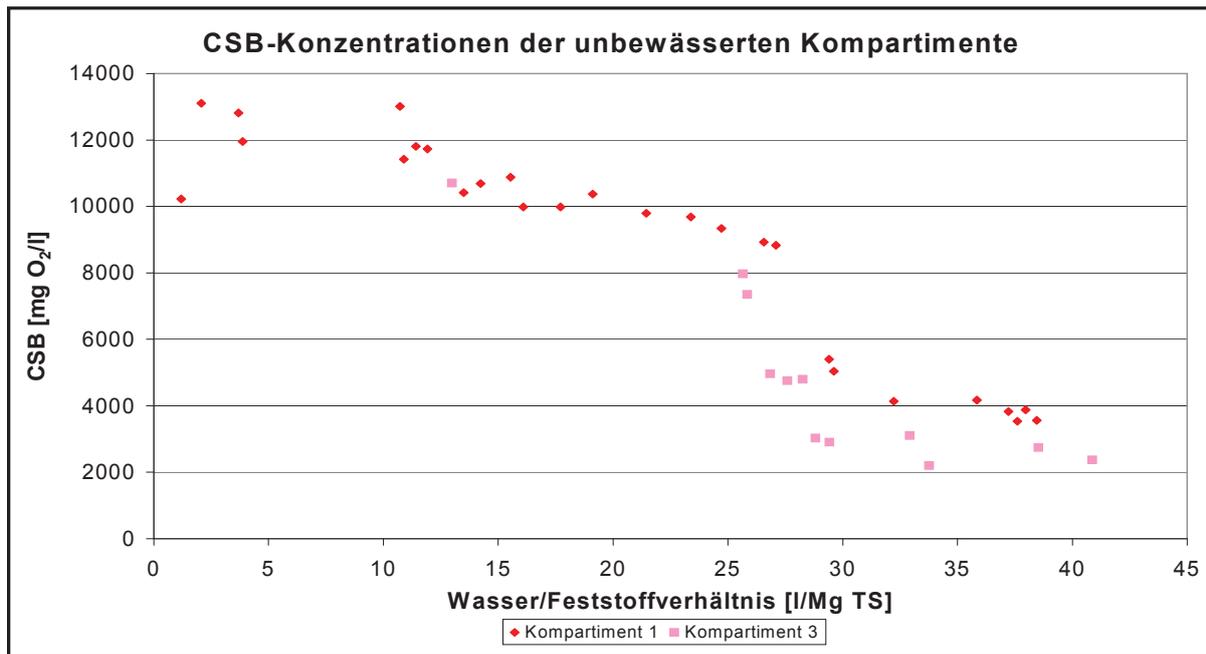


Abbildung 4.45: CSB-Konzentrationen der unbewässerten Kompartimente

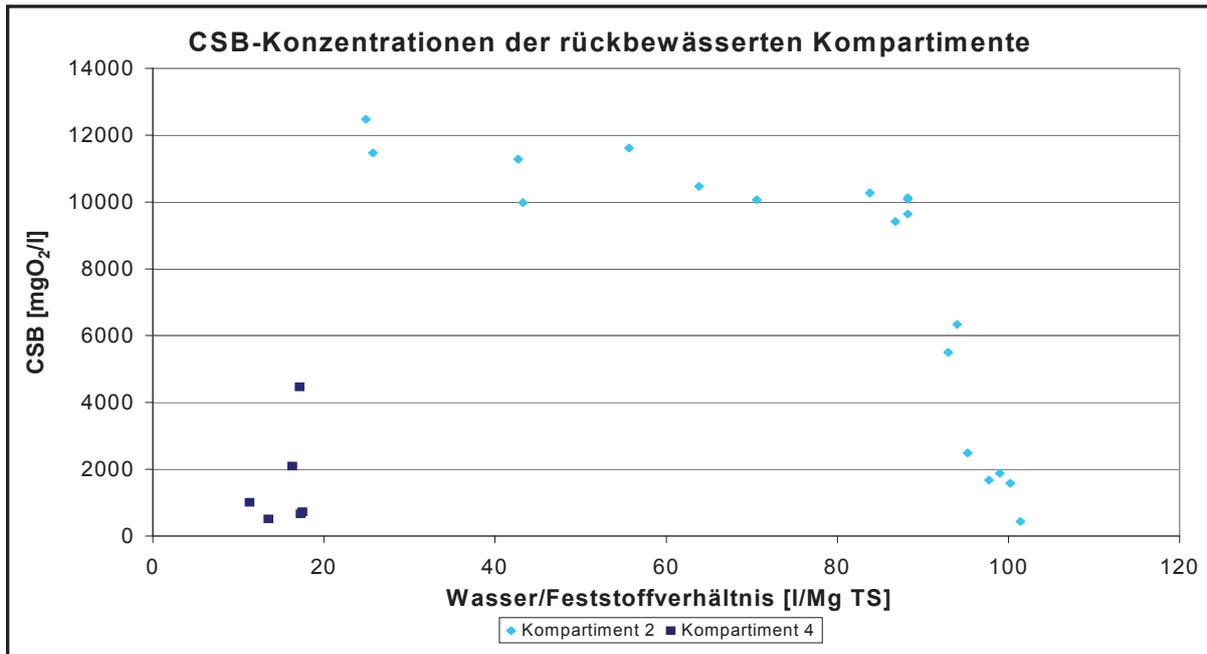


Abbildung 4.46: CSB-Konzentrationen der rückbewässerten Kompartimente

Im Überblick erkennt man ein viel rascheres Absinken der CSB-Konzentration der bewässerten Kompartimente, wogegen der Abbau der Verbindungen in den unbewässerten Kompartimenten über die Zeit annähernd linear ist.

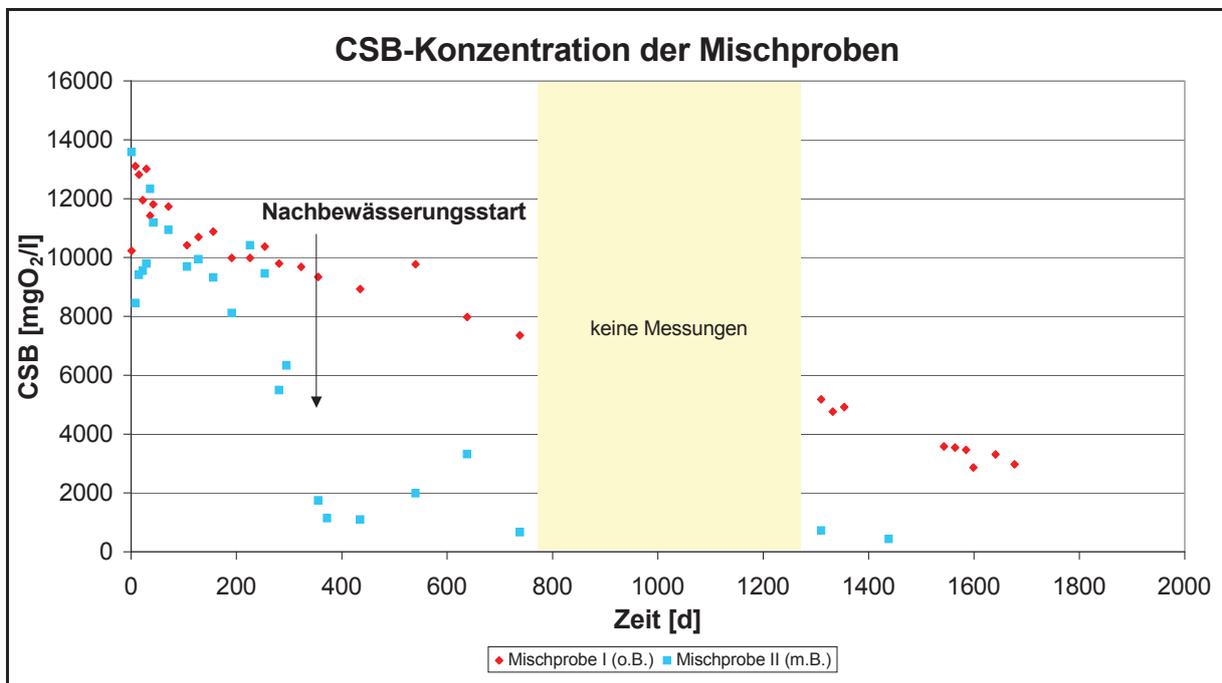


Abbildung 4.47: CSB-Konzentrationen der Mischproben

Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB)

Der biologische Sauerstoffbedarf über fünf Tage (BSB_5) charakterisiert die leicht abbaubaren organischen Substanzen im Sickerwasser.

Eine deutliche Reduktion der Anfangswerte war auch hier in allen Kompartimenten über den gesamten Beobachtungszeitraum von ca. 1.700 Tagen zu beobachten.

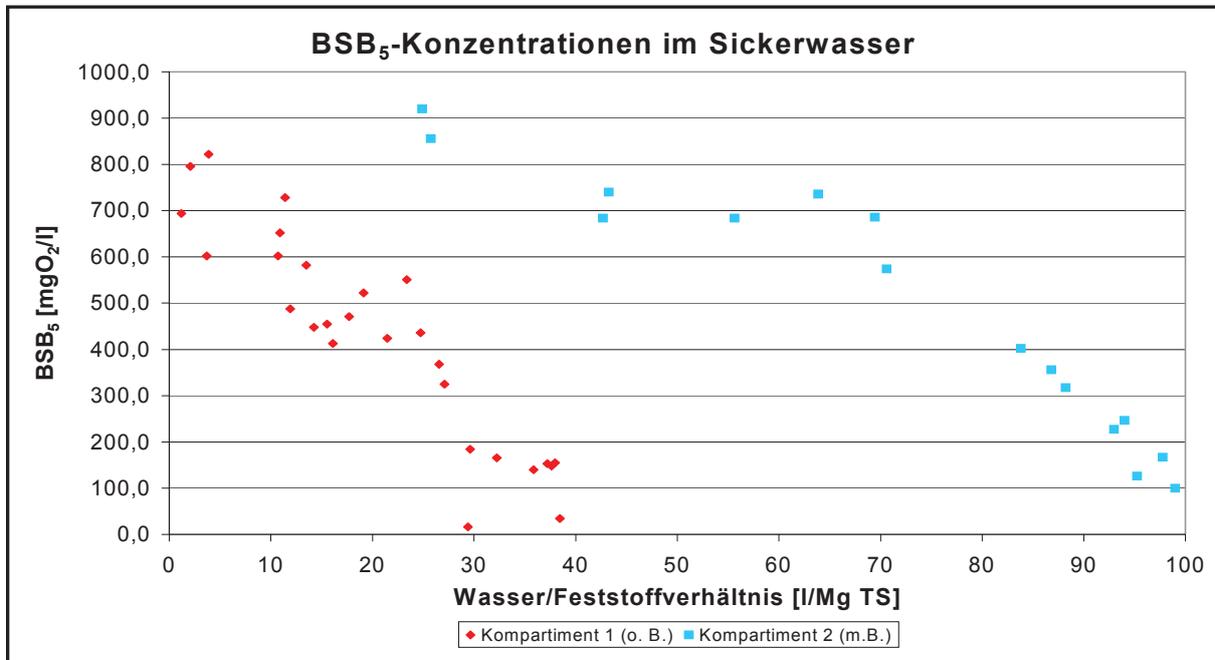


Abbildung 4.48: BSB_5 -Konzentrationen im Sickerwasser

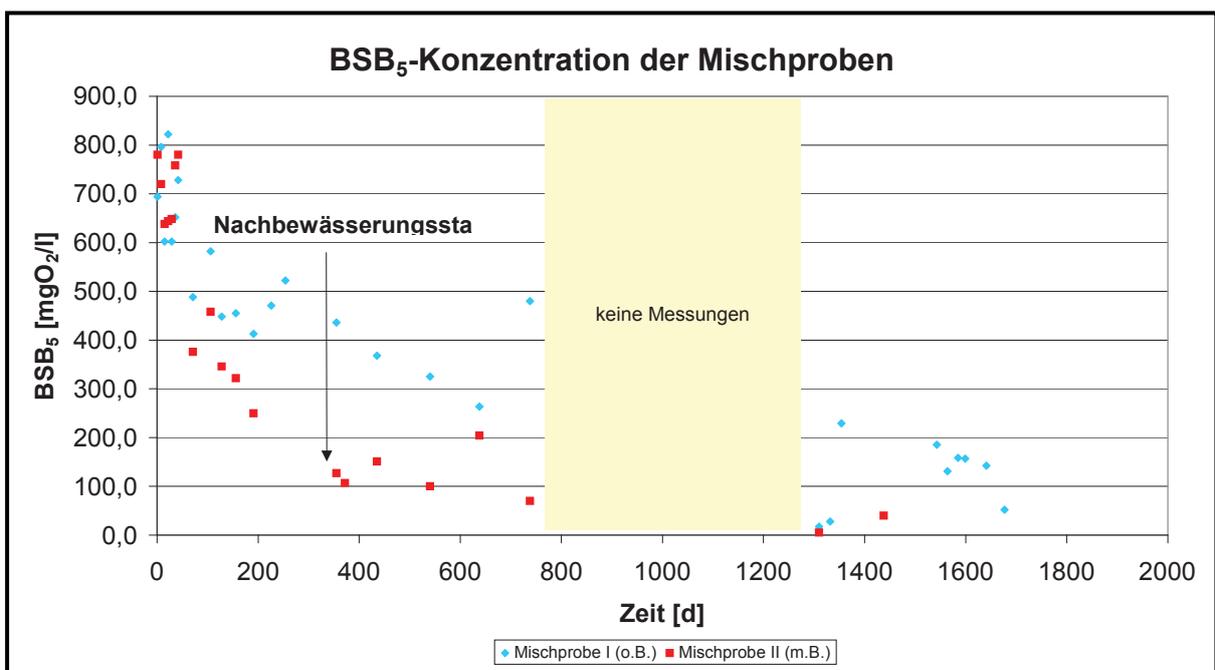


Abbildung 4.49: BSB_5 -Konzentrationen der Mischproben

Verhältnis BSB_5/CSB

Das Verhältnis BSB_5 zu CSB wird rechnerisch aus den gemessenen Werten der beiden Parameter bestimmt. Es ist ein Faktor für den Anteil des biologisch abbaubaren Sauerstoffbedarfs des Sickerwassers am gesamten Sauerstoffbedarf und spiegelt die biologische Aktivität des Sickerwassers wider. Die biologische Aktivität konnte aufgrund des geringen BSB zu CSB -Verhältnisses als äußerst gering eingestuft werden.

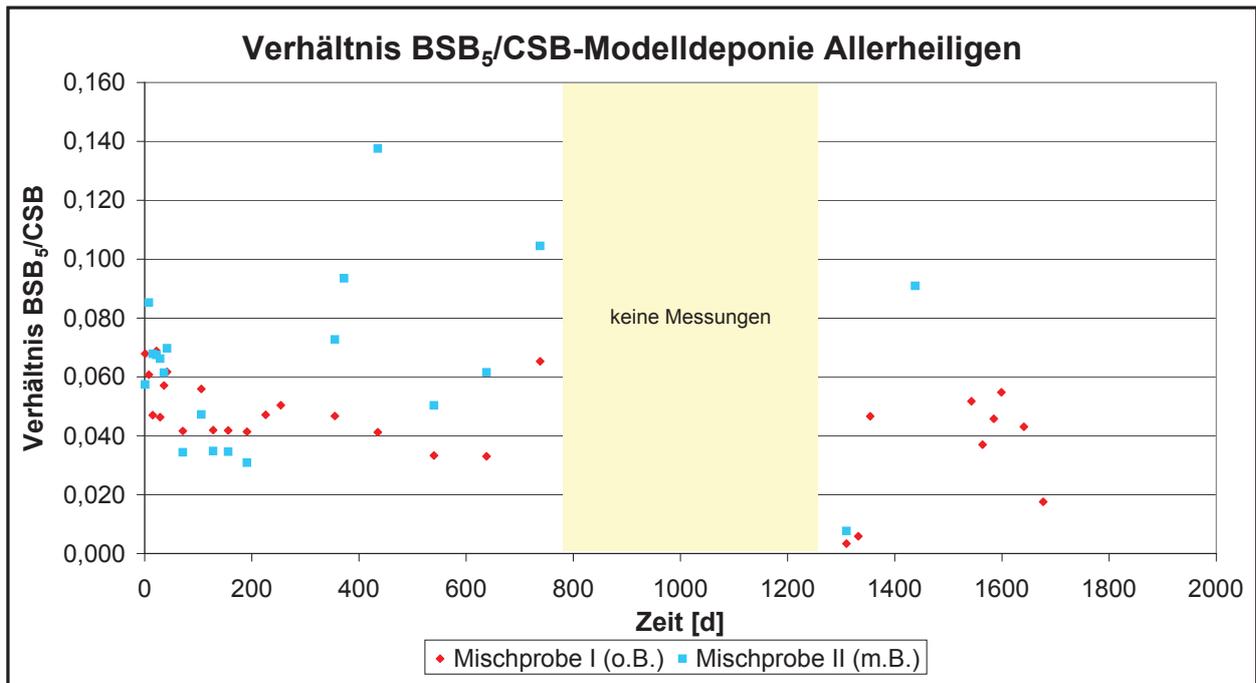


Abbildung 4.50: Verhältnis BSB_5/CSB

Tabelle 4.8: Sickerwasserzusammensetzung [mg/l]

Parameter	Unbehandelter Restabfall (Referenzwerte Methanphase)	Versuchsbeginn (erste Messung)	Bewässerung und Sickerwasser Rückführung				Grenzwert*)	
			ohne		mit		Zur Abwasserbehandlungsanlage	Für Direkt-einleitung
			1. Jahr	5. Jahr	1. Jahr	5. Jahr		
BSB	20 – 2.000	748	522,3		250		-	10
CSB	500 – 5.000	13.344	9.768	2.970	1.987	440	75 **)	50
BSB/CSB	0,1	0,07	0,05		0,03		-	-
TOC	1.100 – 2.200	3.755	2.440	1.029	2.953	155	-	-
NH ₄ ⁺	500 – 2.500	2.220	2.210	1.486	2.867	339	-	10
Leitfähigkeit	6 – 23	26,73	30		27,3			
Ni	0 – 1.200	1,08	1,14	0,23	1,25	0,11	0,5	0,5
Pb	0 – 1.020	0,24	0,11	<0,01	0,05	<0,01	0,5	0,5
Cr	0 – 1.200	0,39	0,31	0,22	0,55	<0,008	0,5	0,5
Cd	0 – 100	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1	0,1
pH	7,0 – 13,6	7,3	7,6	7,4	7,2	6,8	6,5 – 9,5	6,5 – 8,5
PAH	-	n.d.	n.d.		n.d.			
AOX	< 4.000	3,6	-	0,33	-		0,5	0,5
N _{total}	50 – 5.000	2.276	-		-			
BTX	1 – 9	0,012	-		-		0,5	0,1
Cu	0 – 500	1,94	-		-		0,5	0,5
Hg	< 1	0,41	-		-		0,01	0,01
Zn	0,03 – 45	0,96	-		-		0,5	0,5
Cl ⁻	1.000 – 9.600	5.393	-	2.767	-	1.025	Toxizitätsgrenzwert	
NO ₃ ⁻	0,8 – 70	0,59	-		-		-	35
S ²⁻	1,1 – 3,8	0,04	-		-		2	0,5
Kohlenwasserst.	-	7,46	-		-		15	5

*) Grenzwert nach der Österreichischen Abwasseremissionsverordnung

**%) % bioverfügbar

n.d : nicht detektierbar

- keine Messung durchgeführt

4.3.4 Physikalische Untersuchungen

Temperatur in den Kompartimenten

Die Temperatur ist insbesondere zu Beginn der Deponierung ein Maß für das Anspringen der biologischen Aktivität und des anaeroben Abbaus.

Da nur noch Anschlusskabel für das Handmessgerät in den Kompartimenten 1 und 4 aus dem jeweiligen Gasbrunnen verfügbar waren, kann hier nur auf diese Kompartimente Bezug genommen werden. Die Kabel aus den Kompartimenten 2 und 3 sind während der unbetreuten Zeit durch die starke Neigung der Gasdome und der daraus folgenden Spannung gerissen, wodurch eine Messung nicht mehr möglich war.

Die Temperaturen in Kompartiment 1 lagen seit Beginn der Messungen tendenziell höher als in Kompartiment 4. Sie sind seit dem Erreichen eines Temperaturmaximums kontinuierlich gesunken und hatten gegen Ende der Aufzeichnungen im rückbewässerten Kompartiment 4 einen Wert erreicht, der bereits unter den Temperaturen des mesophilen Bereichs lag (20 – 37 °C). Dieser Temperaturbereich ist für gute anaerobe Bedingungen ausschlaggebend, da in diesem Temperaturfenster methanogene Bakterien optimal arbeiten können.

Wie in Abbildung 4.51 und Abbildung 4.52 zu erkennen ist, hatte die vorherrschende Umgebungstemperatur auf die Kompartimenttemperaturen keinen Einfluss. (Die Lufttemperatur wurde im Bereich von 1.573 bis einschließlich 1.691 Tagen nur angedeutet, da für diesen Zeitraum keine Daten zur Verfügung standen.)

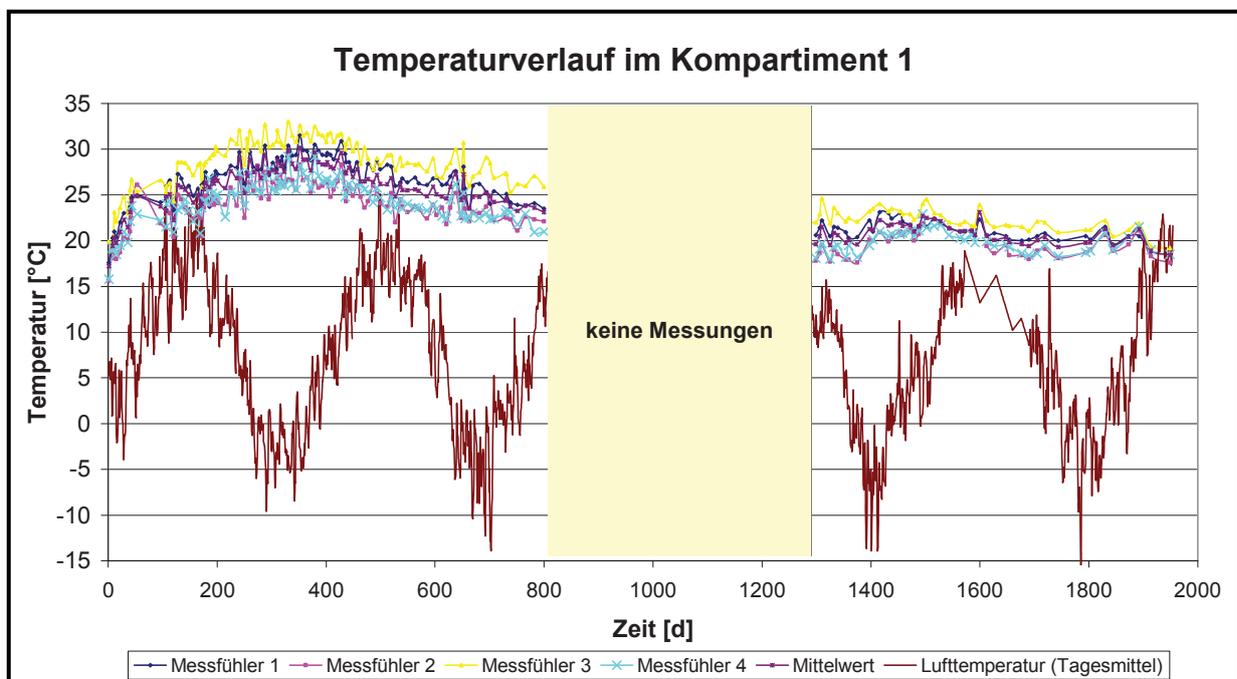


Abbildung 4.51: Temperaturverlauf im Kompartiment 1

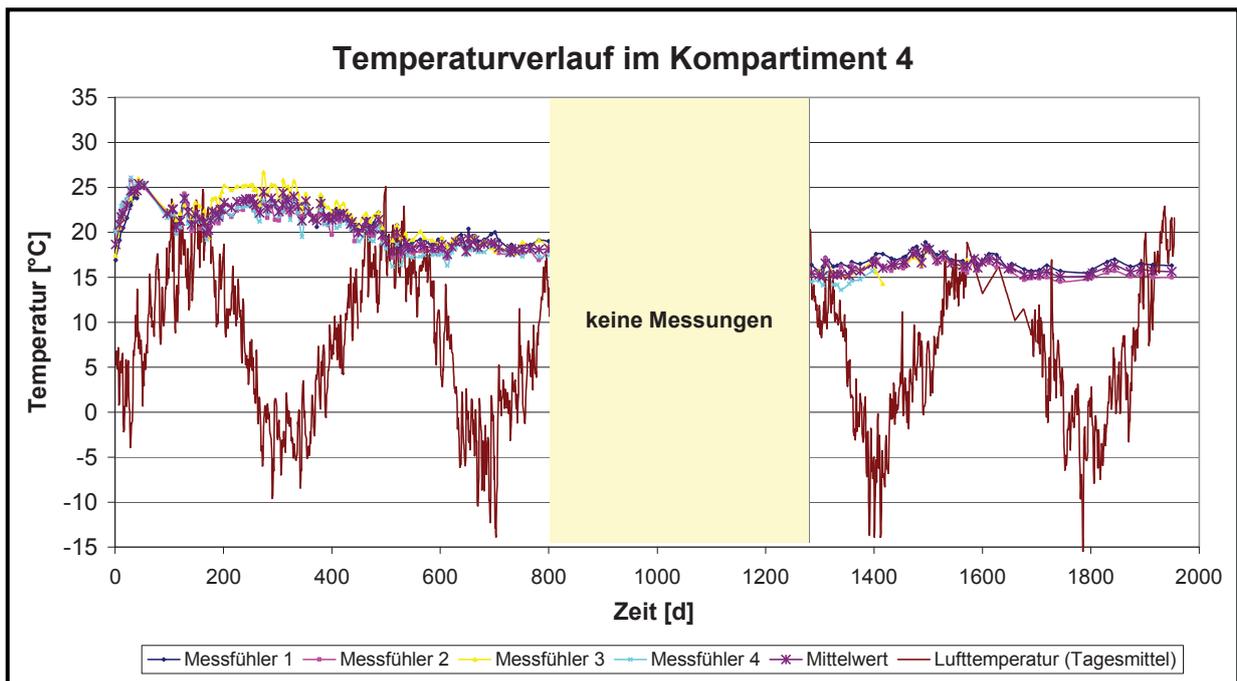


Abbildung 4.52: Temperaturverlauf im Kompartiment 4

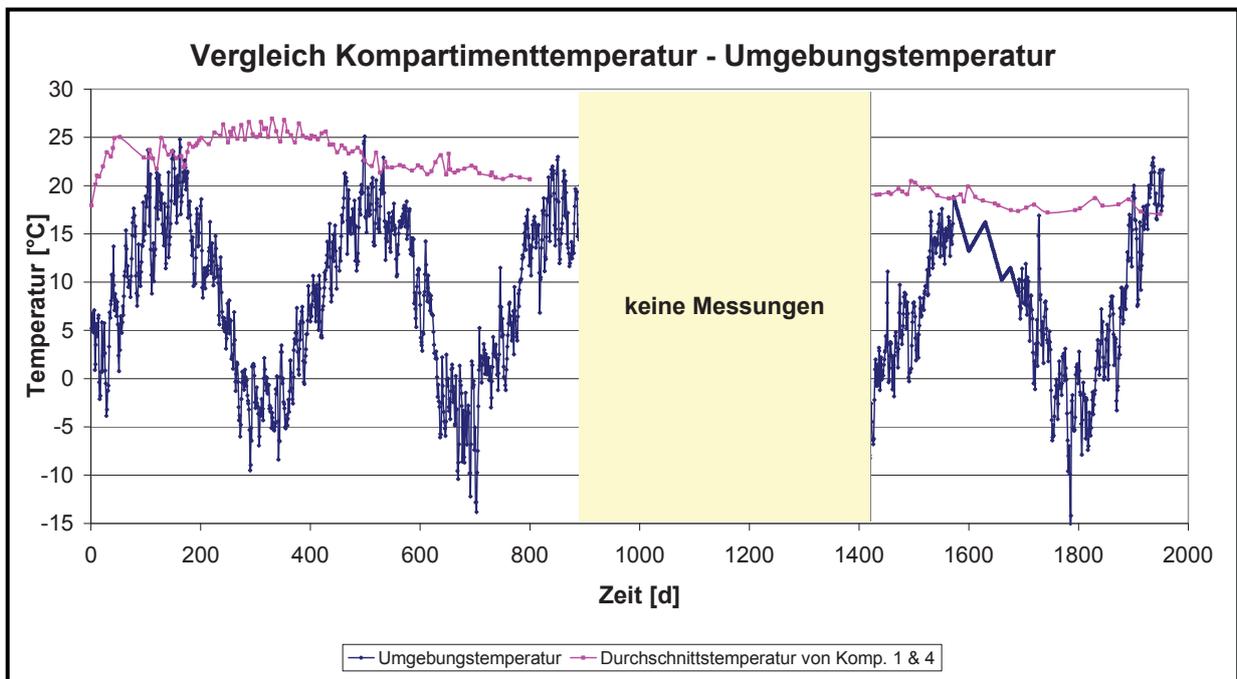


Abbildung 4.53: Vergleich Kompartimenttemperatur – Umgebungstemperatur

4.3.5 Feststoff

Um den Müllkörper, der sich in den Versuchskompartimenten befindet, beproben zu können, wurde mit zwei Radladern des Mürzverbandes und einem Minibagger die Überschüttung der Kompartimente 1 und 2 entfernt (siehe Kapitel 5).

Tabelle 4.9: Entwicklung der limitierenden Parameter für die Restabfall Deponierung während der mechanisch-biologischen Behandlung bzw. Ablagerung in den Versuchszellen

Analysenwert	Einheit	Restmüll [23]	MBA Behandlung 14 – 22 Wochen ¹⁾	Grenzwert ²⁾	erreicht J/N	Versuchszelle nach einem Jahr	Versuchszelle nach fünf Jahren
AT ₄	mg O ₂ /g TS	50 - 80	6,6	7	Ja	3,35	2,44 ⁴⁾ – 2,83 ⁵⁾
AT ₇	mg O ₂ /g TS	100	11,5	-	-	5,15	3,57 – 4,09
Wassergehalt	%	26	35	-	-	29 ⁴⁾ - 39 ⁵⁾ *	37,5 ⁴⁾ – 39,5 ⁵⁾
Brennwert (H _o)	kJ/kg TS	13.000	6.400	6.000	Nein	5.238	5.670 ⁵⁾ – 5.880 ⁴⁾
Zellulose-Gehalt	% TS	12,7 – 16,7	6,5	6,5	Ja	4,4	-
C/L-Faktor ^{*)}		0,6 – 1,87	0,58	0,5	Nein	0,46	-
GS ₉₀	NI/kg TS	150 - 250	35,2	20 ³⁾	-	-	0,76

*) Zellulose/Lignin-Verhältnis

1) Werte der eingebauten Mischprobe

2) Nach DVO (1996) oder vorgeschlagene Werte

3) Grenzwert für GS₂₁,

4) Ohne Sickerwasserrückführung

5) Mit Sickerwasserrückführung und Frischwasserzugabe

*) Wassergehalt nach zwei Jahren

Die Feststoffuntersuchungen aus den Kompartimenten 1 und 2 ergaben die auf den folgenden Seiten im Detail angeführten Werte.

Tabelle 4.10: Ergebnisse der Feststoffuntersuchung (1)

Kompartiment	Proben-Nr.	AT ₄	AT ₇	Cd	Cr _{ges}	Cu
		[mg O ₂ /kg TS]		[mg/kg TS]		
2 (rückbewässert)	1	3.400	4.700	2,2	444,0	870,0
	2	2.300	3.300	2,3	55,5	605,0
	3	2.200	3.400	2,2	423,0	354,5
	4	2.600	3.900	2,2	398,0	401,5
	5	3.190	4.570	2,7	453,0	485,0
	6	3.300	4.700	4,3	463,5	434,0
Mittelwert:		2.832	4.095	2,7	372,8	525,0
1 (nicht rückbewässert)	7	3.200	4.440	3,6	446,0	407,0
	8	2.500	3.900	2,9	431,0	346,0
	9	2.100	3.600	3,4	407,0	519,0
	10	1.700	2.400	2,4	448,0	731,0
	11	2.030	2.900	0,8	477,0	369,0
	12	3.100	4.200	1,0	494,0	439,0
Mittelwert:		2.438	3.573	2,4	450,5	468,5
Ausgangsmaterial (Mischprobe)		6.600	11.500	3,2	372,0	250,0

Tabelle 4.11: Ergebnisse der Feststoffuntersuchung (2)

Kompartiment	Proben-Nr.	GV	H _o	H _u	Hg	N _{ges}	Ni	Pb
		[%]	[kJ/kg TS]		[mg/kg TS]	[% TS]	[mg/kg TS]	
2 (rückbewässert)	1	18,81	5.599	2.158	1,9	1,09	185,0	443
	2	18,67	5.332	1.996	2,2	1,12	207,0	456
	3	19,67	5.762	2.292	2,2	1,18	170,0	249
	4	18,79	5.906	2.234	2,5	1,15	183,0	249
	5	29,25	5.914	2.336	2,7	1,16	182,0	500
	6	25,27	5.523	2.082	2,3	1,15	198,5	236
Mittelwert:		21,74	5.673	2.183	2,3	1,14	187,6	356
1 (nicht rückbewässert)	7	27,83	5.875	2.449	1,5	1,18	219,0	283
	8	28,08	5.935	2.477	1,9	1,22	162,0	263
	9	28,48	5.759	2.530	3,3	1,18	227,0	290
	10	28,09	5.681	2.415	1,8	1,20	188,0	313
	11	29,24	5.803	2.295	1,9	1,22	161,0	687
	12	28,62	6.253	2.629	2,4	1,18	206,0	361
Mittelwert:		28,39	5.884	2.466	2,1	1,20	193,8	366
Ausgangsmaterial (Mischprobe)		33,1	6.400		8,2		330,0	120

Tabelle 4.12: Ergebnisse der Feststoffuntersuchung (3)

Kompartiment	Proben-Nr.	Störstoffe	TOC	TS	WG	Zn
		[%]	[% TS]	[%]	[%]	[mg/kg TS]
2 (rückbewässert)	1	5,49	22,35	60,58	39,42	920,0
	2	2,31	22,43	60,39	39,61	1.168,0
	3	3,51	18,38	61,14	38,86	1.003,0
	4	2,35	21,59	60,07	39,93	1.069,0
	5	0,91	21,87	60,61	39,39	1.038,0
	6	2,23	18,34	60,13	39,87	1.134,5
Mittelwert:		2,80	20,83	60,49	39,51	1.055,4
1 (nicht rückbewässert)	7	1,58	22,16	62,33	37,67	1.016,0
	8	1,67	19,51	62,25	37,75	1.053,0
	9	1,84	15,82	64,23	35,77	1.088,0
	10	1,62	23,42	63,33	36,67	1.000,0
	11	1,50	22,02	60,88	39,12	1.092,0
	12	1,31	19,94	61,88	38,12	1.324,0
Mittelwert:		1,59	20,48	62,48	37,52	1.095,5
Ausgangsmaterial (Mischprobe)					45 - 46	1.030,0

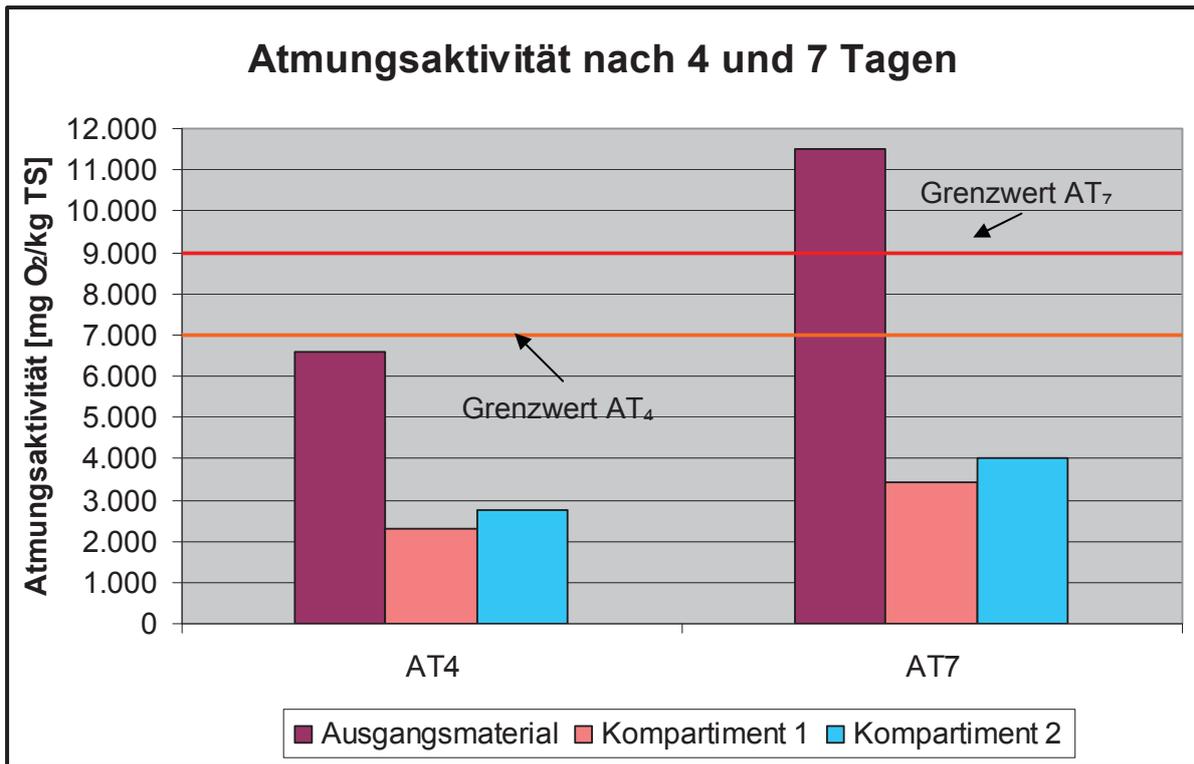


Abbildung 4.54: Atmungsaktivität nach 4 und 7 Tagen

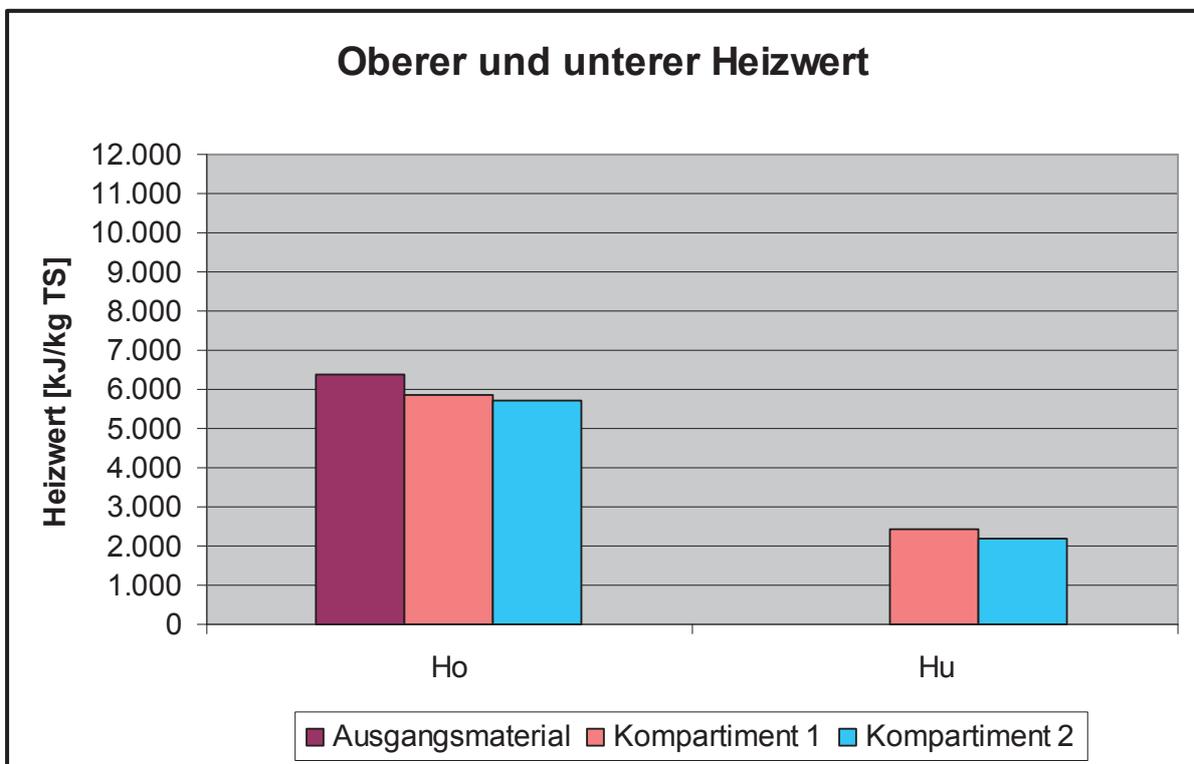


Abbildung 4.55: Oberer und unterer Heizwert

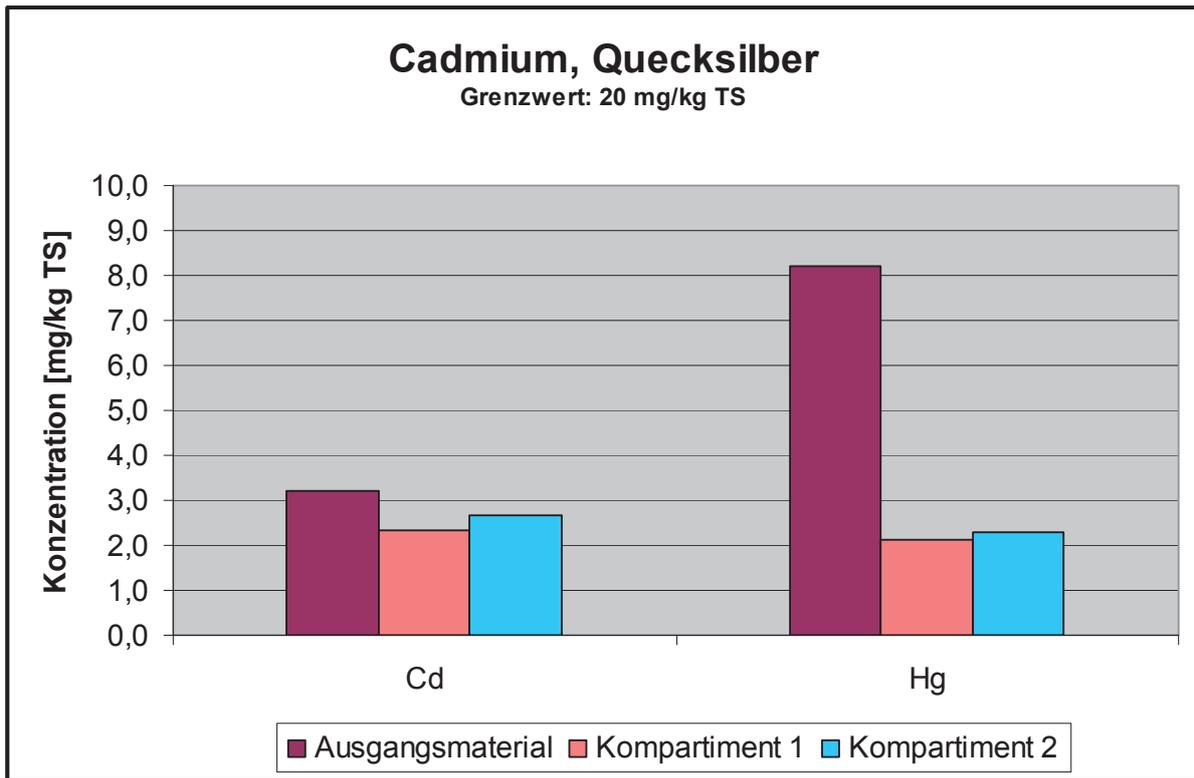


Abbildung 4.56: Cadmium, Quecksilber

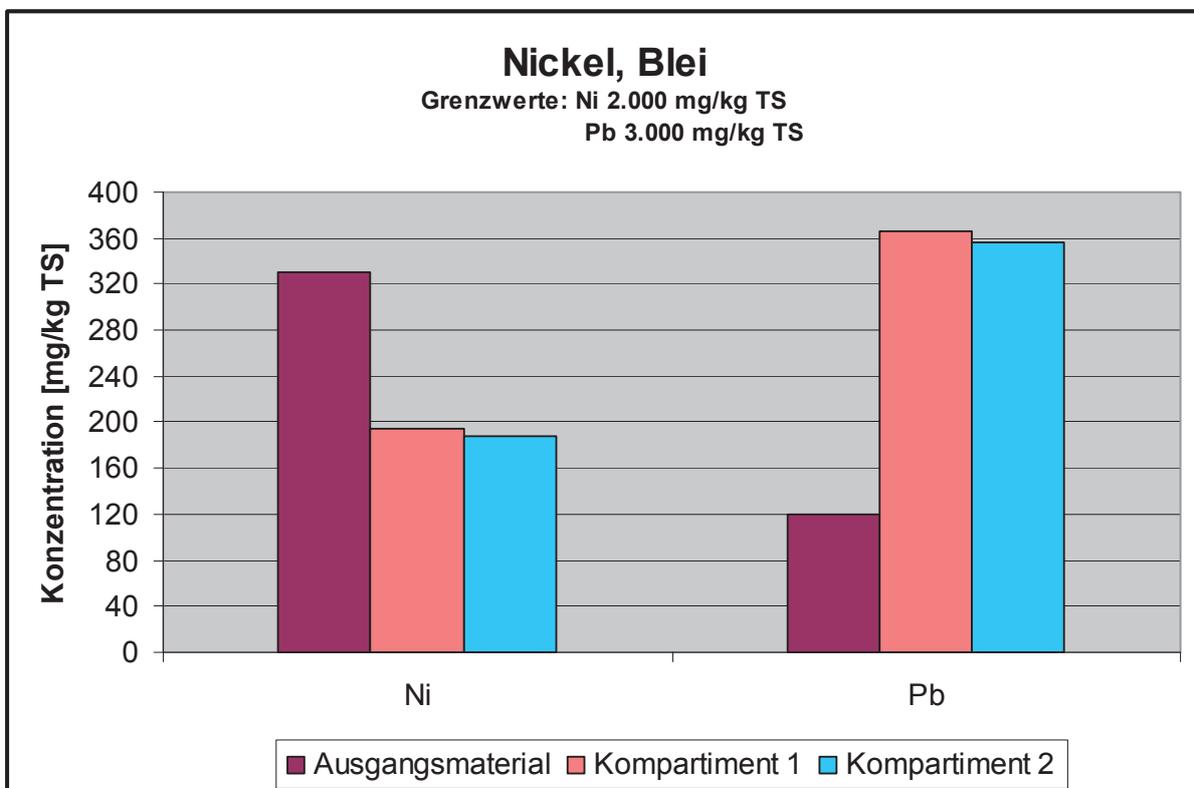


Abbildung 4.57: Nickel, Blei

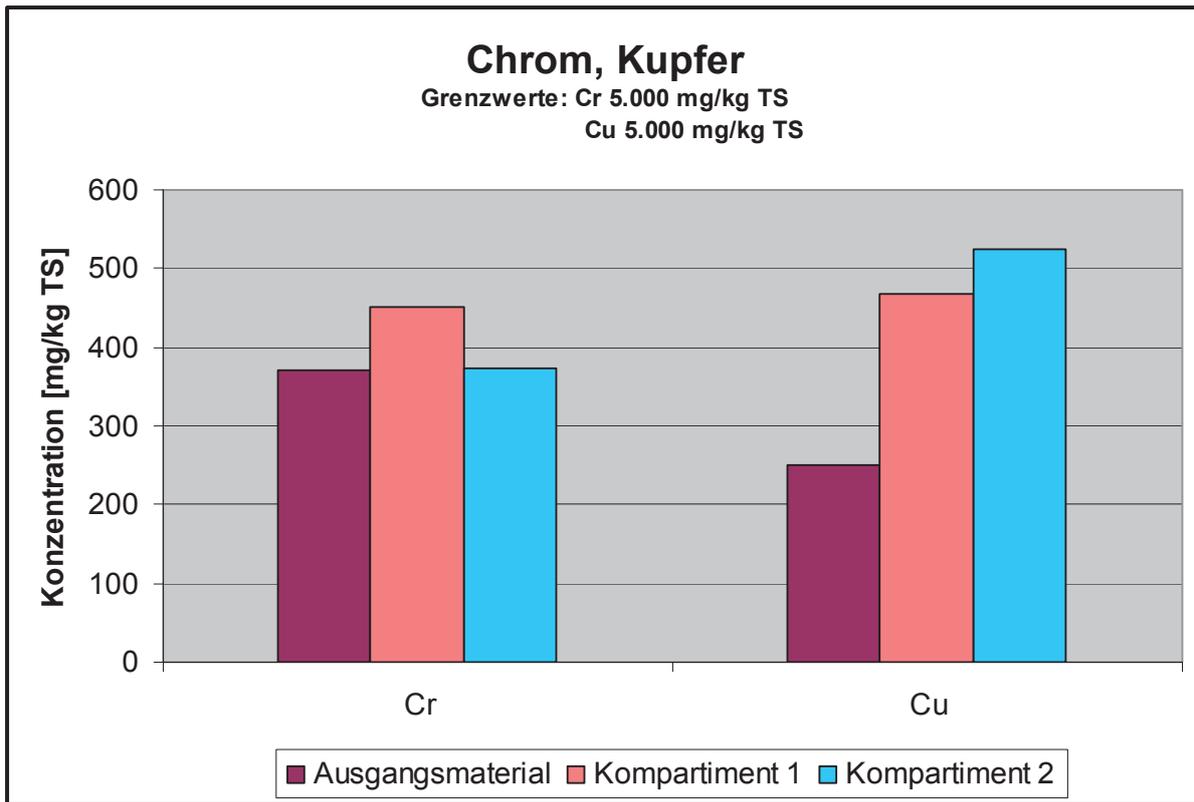


Abbildung 4.58: Chrom, Kupfer

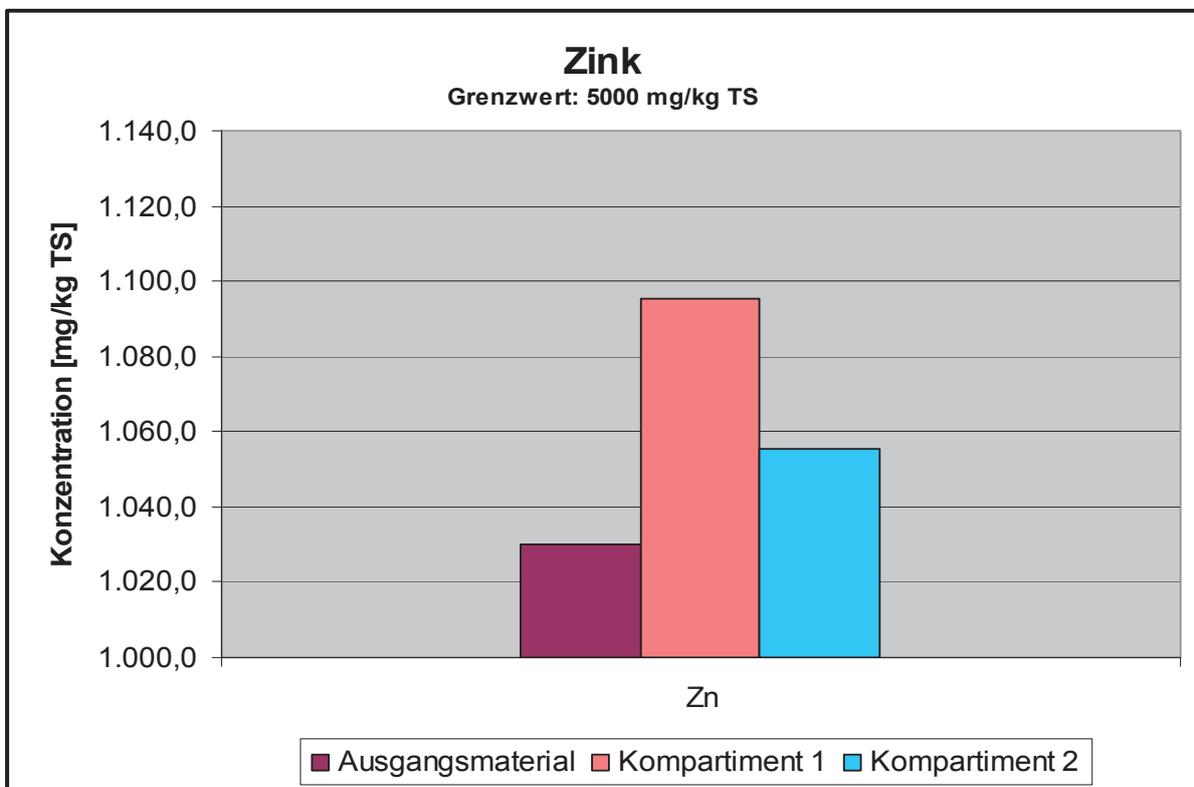


Abbildung 4.59: Zink

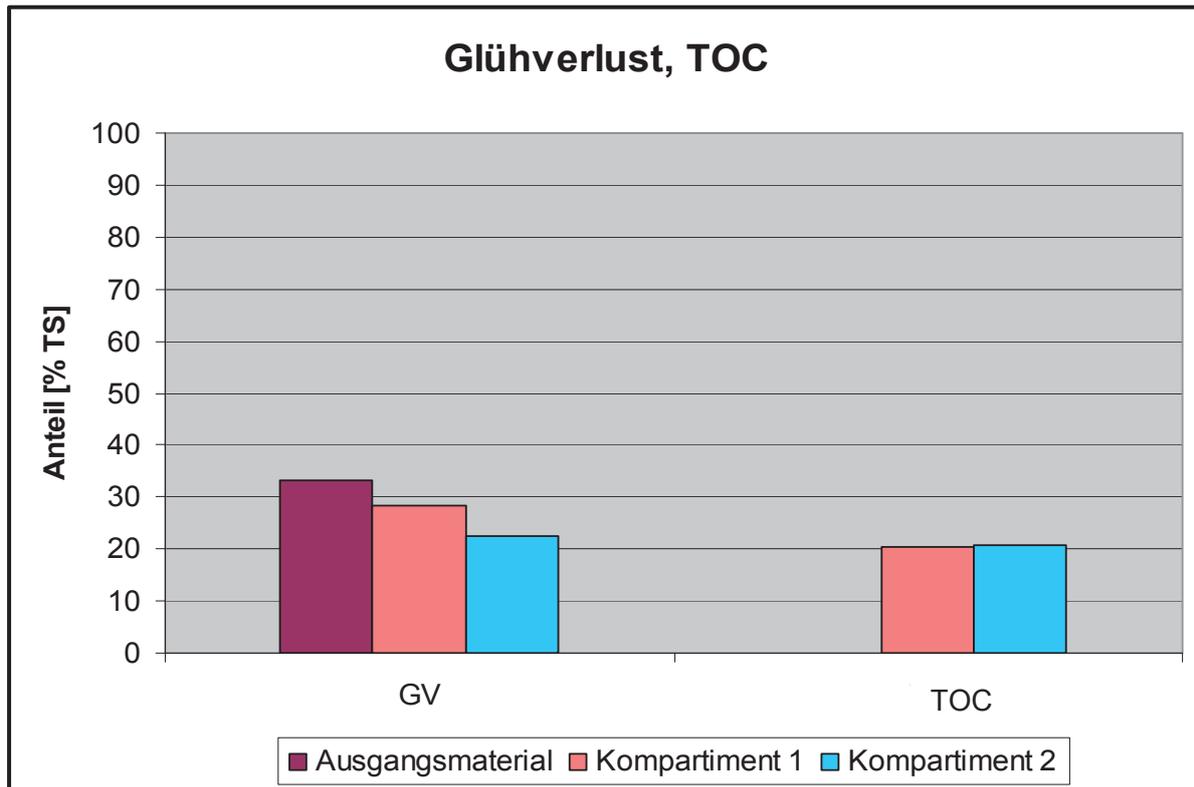


Abbildung 4.60: Glühverlust, TOC

Die Eluatuntersuchungen aus der Feststoffprobe ergaben die auf den folgenden Seiten angeführten Werte.

Tabelle 4.13: Ergebnisse der Eluatuntersuchung (1)

Kompartiment	Proben-Nr.	ADR	BSB ₅	CSB	Cl ⁻	eL	pH
		[mg/kg TS]				[mS/cm]	
2 (rückbewässert)	1	30.500	100	20.340	3.171	3,49	7,83
	2	28.850	499	18.300	2.377	3,10	8,19
	3	28.300	1.500	18.300	2.831	2,95	8,40
	4	24.000	2.130	16.270	1.659	2,51	8,00
	5	33.800	535	21.350	3.030	3,46	8,32
	6	33.500	210	21.350	3.012	3,26	8,39
Mittelwert:		29.825	829	19.318	2.680	3,13	8,19
1 (nicht rückbewässert)	7	31.800	1.590	20.340	3.702	3,73	8,02
	8	32.750	184	24.410	3.647	3,21	8,57
	9	32.150	734	21.860	3.553	3,31	8,47
	10	41.950	1.309	28.470	4.143	3,82	8,55
	11	38.700	665	20.340	4.272	3,97	8,40
	12	31.300	1.245	14.240	2.993	3,75	7,99
Mittelwert:		34.775	955	21.610	3.718	3,63	8,33
Ausgangsmaterial (Mischprobe)		25.800				3,2	7,5

Tabelle 4.14: Ergebnisse der Eluatuntersuchung (2)

Kompartiment	Proben-Nr.	F ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	P _{ges}	SO ₄ ²⁻	TOC
		[mg/kg TS]					[mg/kg TS]	
2 (rückbewässert)	1	9,79	1.946	6,5	<0,2	430	5.023	3.200
	2	5,34	1.894	27,2	<0,2	130	4.268	3.000
	3	3,68	1.590	74,1	<0,2	140	2.311	3.200
	4	3,40	1.402	32,3	<0,2	81	2.908	2.220
	5	5,80	1.720	37,1	<0,2	67	3.423	3.920
	6	7,50	1.574	18,1	<0,2	175	2.978	4.000
Mittelwert:		5,92	1.688	32,5	<0,2	170	3.485	3.257
1 (nicht rückbewässert)	7	5,26	1.149	20,7	<0,2	140	5.082	3.800
	8	7,45	1.393	64,0	<0,2	1.470	959	4.780
	9	12,60	1.917	26,2	<0,2	1.560	1.060	4.290
	10	8,70	1.677	19,8	<0,2	507	905	6.540
	11	14,50	2.692	19,7	<0,2	230	644	5.070
	12	8,68	2.061	14,9	<0,2		6.555	3.620
Mittelwert:		9,53	1.815	27,6	<0,2	781	2.534	4.683
Ausgangsmaterial (Mischprobe)			2.130		<0,5		7.620	

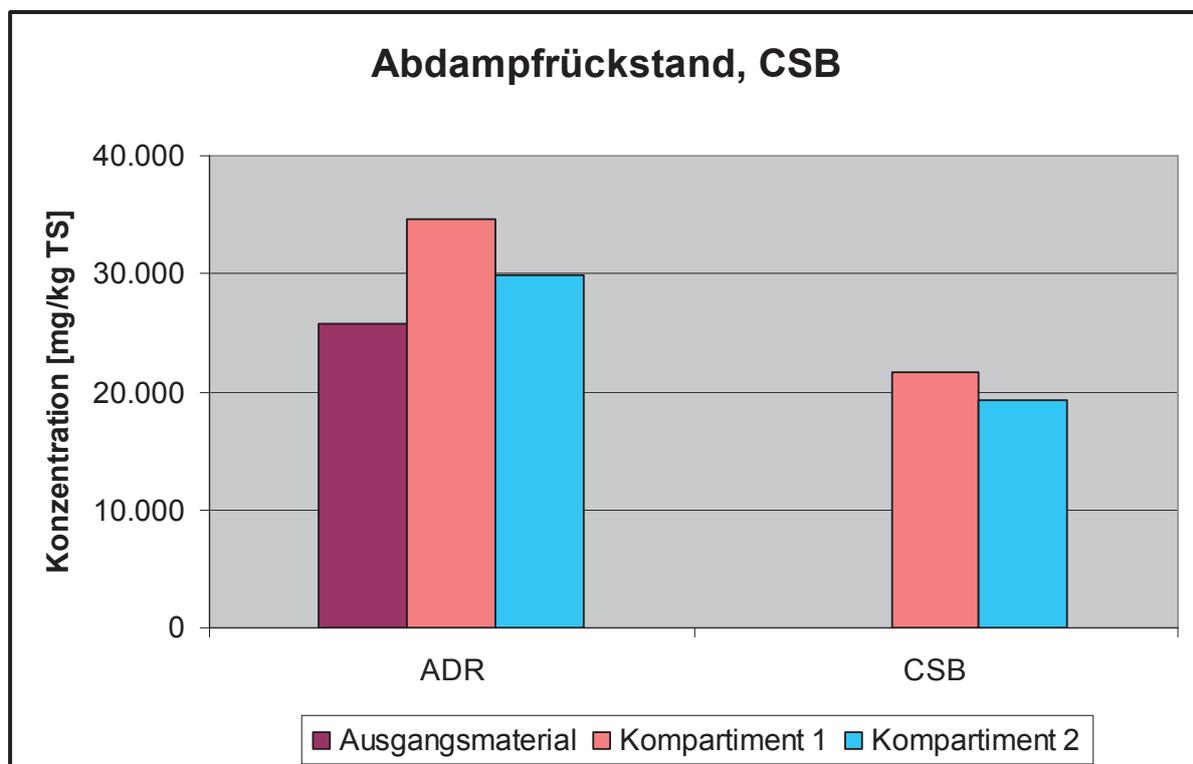


Abbildung 4.61: Eluat – Abdampfrückstand, Chemischer Sauerstoffbedarf

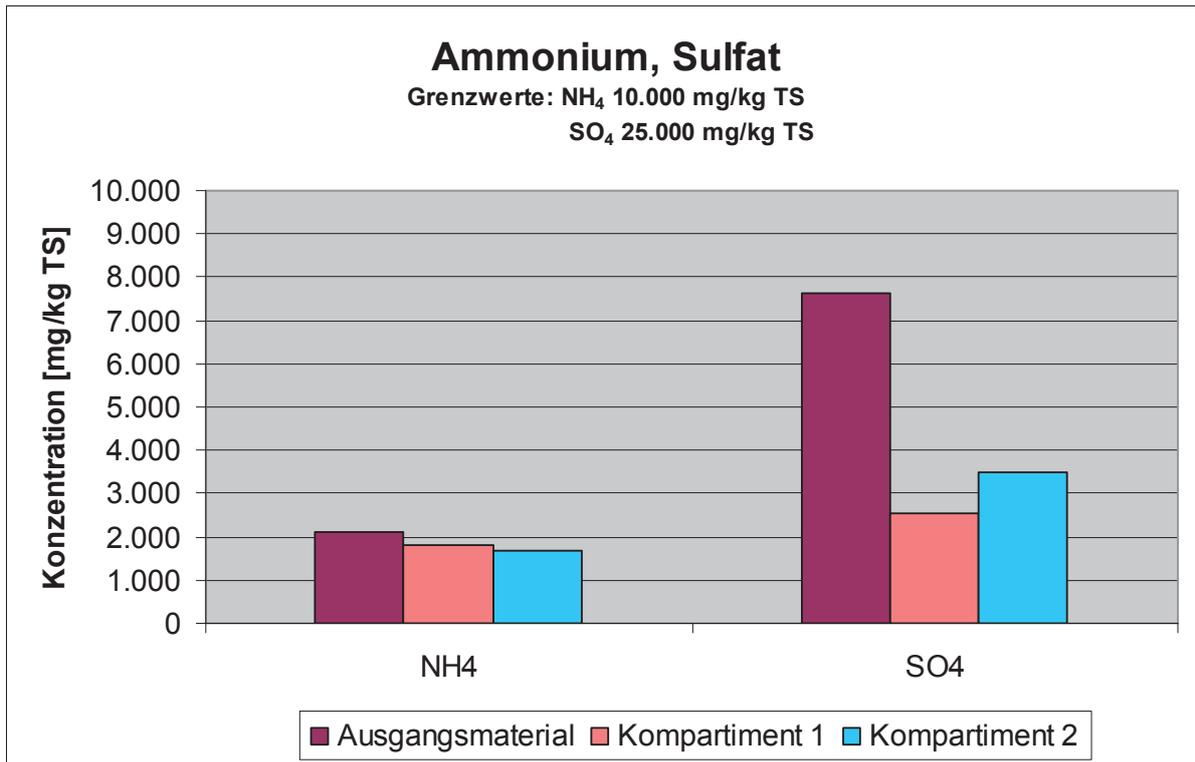


Abbildung 4.62: Eluat – Ammonium, Sulfat

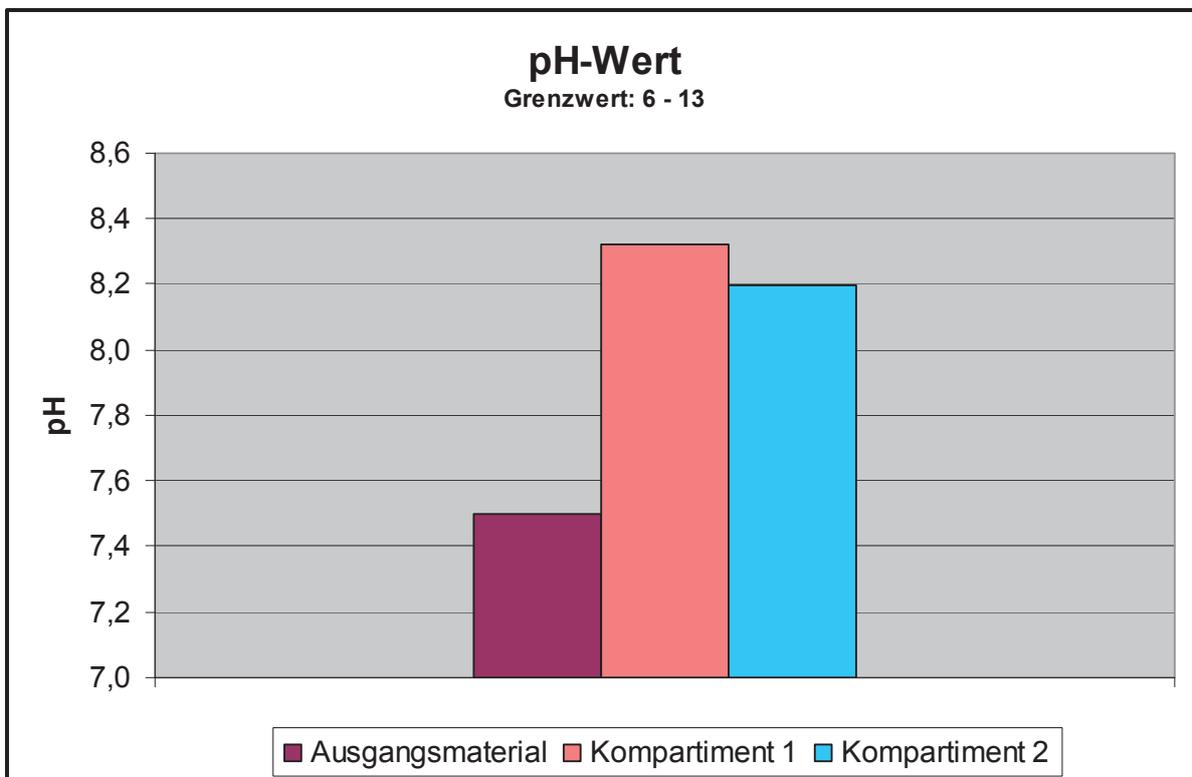


Abbildung 4.63: Eluat – pH-Wert

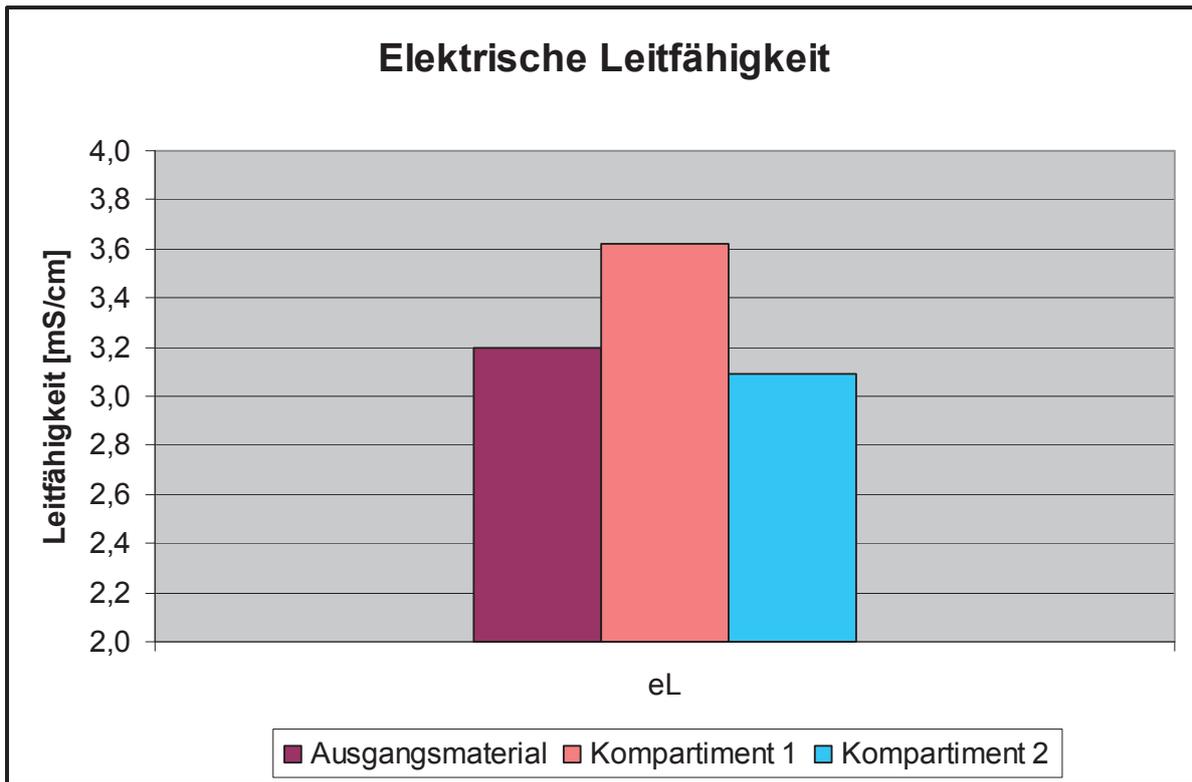


Abbildung 4.64: Eluat – Elektrische Leitfähigkeit

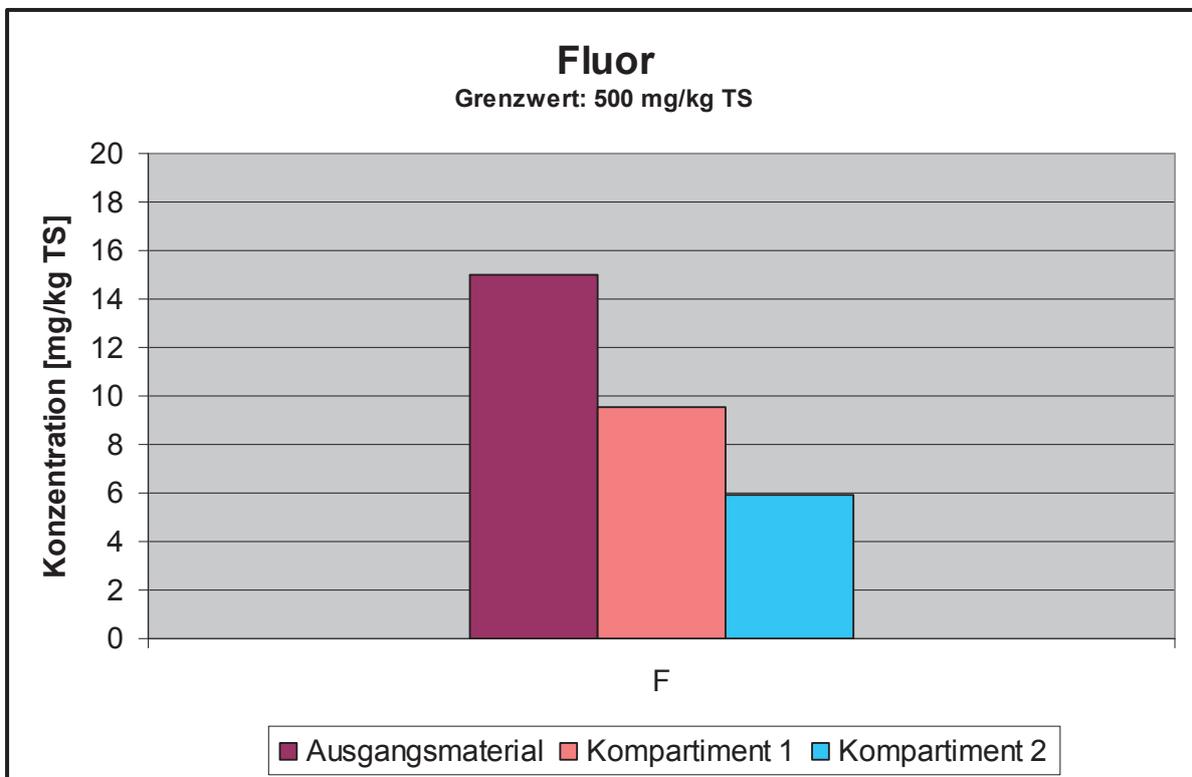


Abbildung 4.65: Eluat - Fluor

4.3.5.1 Inkubationsversuch

Die Ergebnisse aus den GS_{21} - und GS_{90} -Tests zeigen eine signifikante Abnahme des Gasbildungspotenzials des abgelagerten Materials nach rd. 1.950 Tagen. Das Gasbildungspotenzial verringerte sich somit um 97,8 %, ausgehend von den ursprünglichen 35,2 NI/kg TS.

Abbildung 4.66 zeigt, welche der entnommenen Bohrkernes auf den Untersuchungsparameter Gasspendensumme 21 bzw. 90 analysiert wurden.

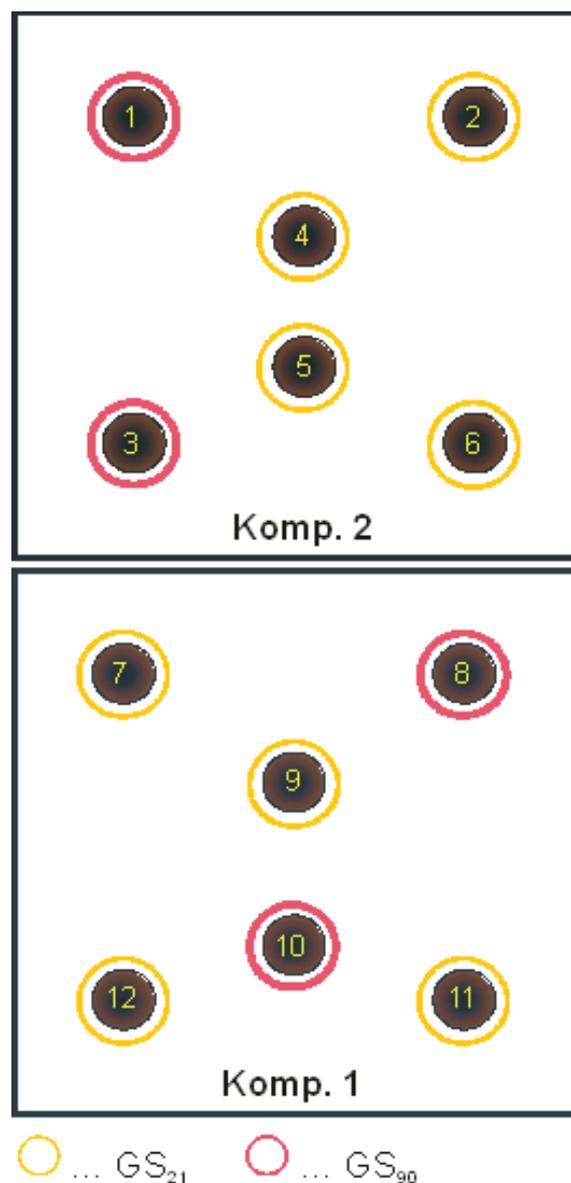


Abbildung 4.66: Inkubationstests Beprobungsschema

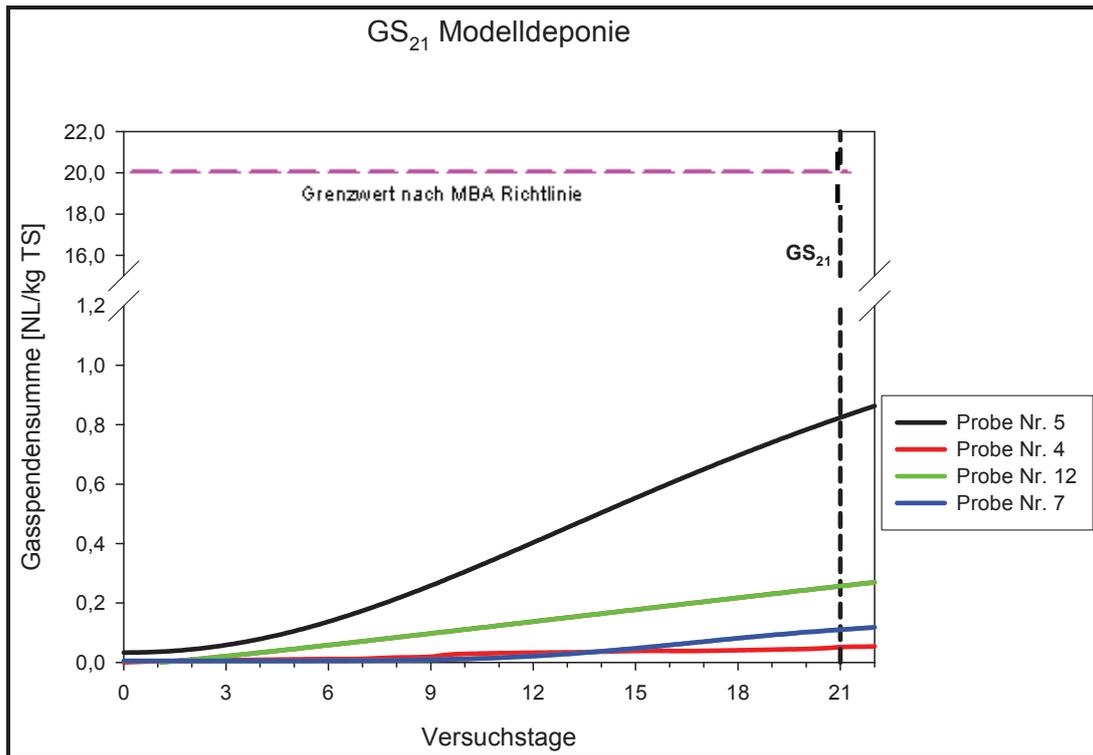


Abbildung 4.67: Gasspendensumme nach 21 Tagen (Proben 4, 5, 7, 12)

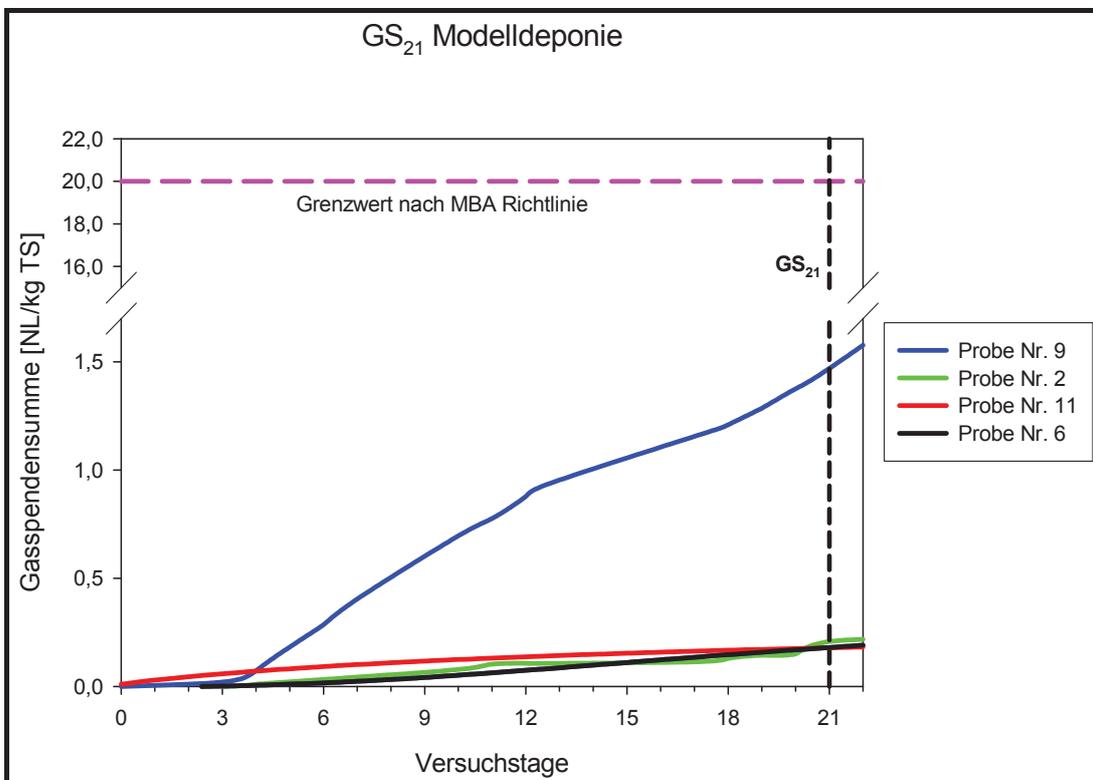


Abbildung 4.68: Gasspendensumme nach 21 Tagen (Proben 2, 6, 9, 11)

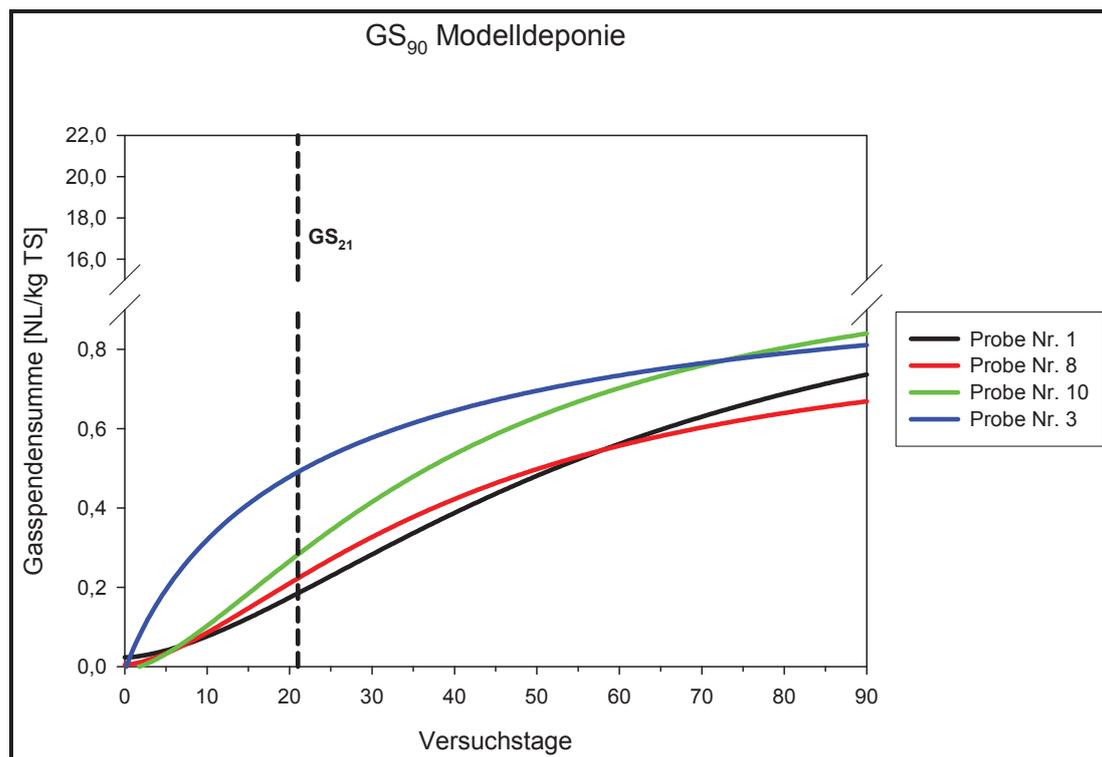


Abbildung 4.69: Gasspendensumme nach 90 Tagen (Proben 1, 3, 8, 10)

Die Proben 1, 8 und 10 zeigen prinzipiell die für Untersuchungen dieser Art typische sigmoide Kurvencharakteristik. Diese beinhaltet eine kurze lag-Phase in den ersten 4 bis 5 Tagen, die Wachstumskurve die – für Mischpopulationen in heterogenen Substraten typisch – weit unter der theoretischen exponentiellen Wachstumsrate liegt, sowie die Sättigungsphase, welche in diesen Proben nach ca. 60 Tagen erreicht wurde. Probe 3 zeigt keine lag-Phase, was eventuell darauf zurückzuführen ist, dass diese Probe bereits während der Probennahme bessere Bedingungen für die Mikroorganismen aufgewiesen hat. Alle vier Proben zeigen nach ca. 35 Tagen eine mehr oder weniger starke Inhibierungsphase. Ein möglicher Grund für dieses Verhalten kann in der Änderung der Nährstoffzusammensetzung im Laufe des mikrobiellen anaeroben Abbaus liegen. Naturgemäß werden leicht abbaubare Nährstoffe im Substrat zu Beginn schneller metabolisiert, und die Mischpopulation adaptiert innerhalb sehr kurzer Zeit an diese/s Substrat/e. Ist dieses Substrat annähernd verstoffwechselt, muss sich die Mikroorganismenpopulation auf die neuen Bedingungen einstellen und es kommt somit gewissermaßen zu einer erneuten lag-Phase, die sich in einem Einbruch der Gasbildungsrate zeigt. Nach ca. 65 Tagen ist bei diesen Proben praktisch kein verwertbares Substrat mehr vorhanden, was sich in den geringen Gasbildungsrate niederschlägt.

Tabelle 4.15: Gasspendensummen der einzelnen Proben

Kompartiment	Probennr.	GS ₂₁ [NI/kg TS]	GS ₉₀ [NI/kg TS]
2	1	0,25	0,69
	2	0,21	
	3	0,46	0,82
	4	0,50	
	5	0,79	
	6	0,18	
Mittelwert		0,40	0,76
1	7	0,11	
	8	0,25	0,66
	9	1,47	
	10	0,27	0,83
	11	0,20	
	12	0,25	
Mittelwert		0,43	0,75

Die aus den Versuchen ermittelten Gasspendensummen bewegen sich im Bereich der unteren Nachweisgrenzen. Der Vergleich der ermittelten Werte für **GS₂₁** (0,40 – 0,43) bzw. **GS₉₀** (0,75 – 0,77) mit dem **GS₂₁** Grenzwert für von 20 [NI/kg] verdeutlicht diesen Umstand. Die Gasproduktionsrate des Probenmaterials lag somit für den Parameter **GS₂₁** lediglich bei **2 %** des Grenzwertes.

Die hohen absoluten Streuungen der Gasspendensummen der einzelnen Proben aus den Kompartimenten 1 und 2 relativieren sich, wenn man die nicht zu vermeidende Inhomogenität des beprobten Materials und die sehr niedrige Gasproduktionsrate (untere Nachweisgrenze) im Inkubationsversuch betrachtet.

Tabelle 4.16: Gasspendensummen 1998 – 2003

Analysenwert	Abgelagertes Material	
	Einbau	nach 1950 Tagen
GS ₉₀ [NI/kg TS]	35,2	0,75 – 0,76
GS ₂₁ [NI/kg TS]	-	0,40 – 0,43

Die Probe mit einer Gasspendensumme von 35,2 NI/kg TS wurde 4 Wochen vor dem Einbau des Materials in die Modelldeponie gezogen. Diese GS₉₀-Untersuchungen fanden an der Abteilung für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur statt. Die GS₂₁- und GS₉₀-Tests der Proben, die nach einer Verweildauer von 1.950 Tagen aus den Kompartimenten entnommen wurden, fanden am IAE statt. Die Untersuchungen wurden nach

5 Öffnung der Versuchskompartimente

Im Sommer 2003 wurde mit der schonenden Öffnung zweier Versuchskompartimente und dem anschließenden Beprobieren des Müllkörpers der praktische Teil des Projektes Modelldeponie abgeschlossen. Aufgrund der großen Überschüttungshöhe von 5 m und des sich daraus ergebenden großen Volumens an Überdeckungsmaterial wurde aus technischen Gründen lediglich eine Beprobung des Feststoffes der Kompartimente 1 und 2 durchgeführt. Kompartimente 3 und 4 wurden nicht geöffnet und konnte somit auch nicht beprobt werden. Diese Vorgehensweise war mit den Auftraggebern abgestimmt.

5.1 Rohrrammversuch

Vor der Öffnung der Kompartimente musste eine geeignete Methode der Beprobung des Feststoffes aus den Versuchskompartimenten gefunden und entwickelt werden. Aus diesem Grund wurden im Februar und Mai 2003 Versuche mit einem 2.700 mm langen Stahlrohr mit einem Durchmesser von 130 mm mit Hilfe und einem 20 t schweren Radlader des Mürzverbandes durchgeführt. Dabei wurde das Rohr mit der Baggerschaufel auf dem Deponieareal in den Untergrund gedrückt. Bei einem weiteren Versuch wurde Material, welches aus gesiebt Kompost bestand und auf dem Vorplatz der Deponie lagerte, für mehrmalige Einrammversuche herangezogen.



Abbildung 5.1: Rohrrammversuch



Abbildung 5.2: Rohrrammversuch



Abbildung 5.3: Ziehen des Rohres mittels Radlader



Abbildung 5.4: Gewinnung eines Bohrkernes

Das ursprüngliche Problem, nämlich ein Verstopfen des Rohres durch das eingedrungene Probenmaterial nach bereits ca. 50 cm, konnte durch eine Verjüngung am eindringenden Rohrende gelöst werden. Zusätzlich wurde die Rohröffnung geschärft, um das zu beprobende Material besser „herausschneiden“ zu können. Nach einigen Optimierungsmaßnahmen und Praxistests wurde letztendlich ein praxistaugliches Probenahmerohr entwickelt.

5.2 Entfernen der Überdeckungsschicht

Eine stabile Schönwetterperiode war Voraussetzung, um das Material ohne störende Witterungseinflüsse beproben zu können. Am 25.06.2003 wurde mit der Öffnung der Kompartimente begonnen. Durch das schnelle Voranschreiten der Arbeiten konnte noch am gleichen Tag die Probenahme abgeschlossen werden.

Um den Müllkörper in den Versuchskompartimenten beproben zu können, wurde mit einem Kompaktor und einem Radlader des Müzverbandes die Überschüttung der Kompartimente 1 und 2 entfernt. Um den oberen Bereich (Abdeckfolie, Schotterrollierung der Gasdrainageschicht) der beiden Kompartimente nicht allzu sehr in Mitleidenschaft zu ziehen, wurde nach den Grobarbeiten ein Minibagger eingesetzt, der für diese Aushubarbeiten besser geeignet war.



Abbildung 5.5: Entfernen der Überschüttung



Abbildung 5.6: Entfernung der Überschüttung



Abbildung 5.7: Verbindungsmuffe am Entgasungsrohr



Abbildung 5.8: Minibagger für Feinarbeiten



Abbildung 5.9: Stützschalung der Kompartimente



Abbildung 5.10: Entfernung der Abdeckfolie



Abbildung 5.11: Freigelegte Kompartimente 1 & 2

5.3 Probenahme

5.3.1 Vorbereitungen

Die Probenahme wurde mit einem eigens entwickelten Probenahmerohr (siehe Kapitel 5.1), welches mit einer Baggerschaufel in den Müllkörper gedrückt wurde, vorgenommen. Dazu musste zuerst die 2 mm dicke HDPE-Folie (Oberflächenabdichtung) der beiden Kompartimente entfernt werden (siehe Abbildung 5.12).



Abbildung 5.12: Entfernen der Abdeckfolie

Im Anschluss wurden jene Stellen, an denen eine Beprobung vorgesehen war, nacheinander vom Schotter befreit und das darunter befindliche Geotextil ausgeschnitten (siehe Abbildung 5.13).



Abbildung 5.13: Vorbereitung für Bohrkernentnahme

5.3.2 Durchführung

Jedem Kompartiment wurden auf zuvor festgelegten Probenahmestellen 6 Proben entnommen, um eine möglichst repräsentative Probenahme des zu untersuchenden Materials zu gewährleisten. Es wurde mit der Beprobung des Kompartiments 2 begonnen, da die Zugänglichkeit für den Radlader besser gegeben war. An den Probennummern kann man die Chronologie der Bohrkernentnahme mitverfolgen (siehe Abbildung 5.14; Die Bohrkernentnahmestellen sind aus Gründen der besseren Sichtbarkeit vergrößert dargestellt).

Das Rohr wurde jeweils bis zur unteren Schotterdrainageschicht in den Boden eingerammt. Die Tiefe schwankte dabei von 1,80 m (1. Bohrkern, Kompartiment 2) bis 1,50 m (10. Bohrkern, Kompartiment 1).

Im Anschluss wurde das Rohr mit einer Kette wieder herausgezogen. Das verbleibende Bohrloch der Kernbohrung ist in Abbildung 5.15 ersichtlich.

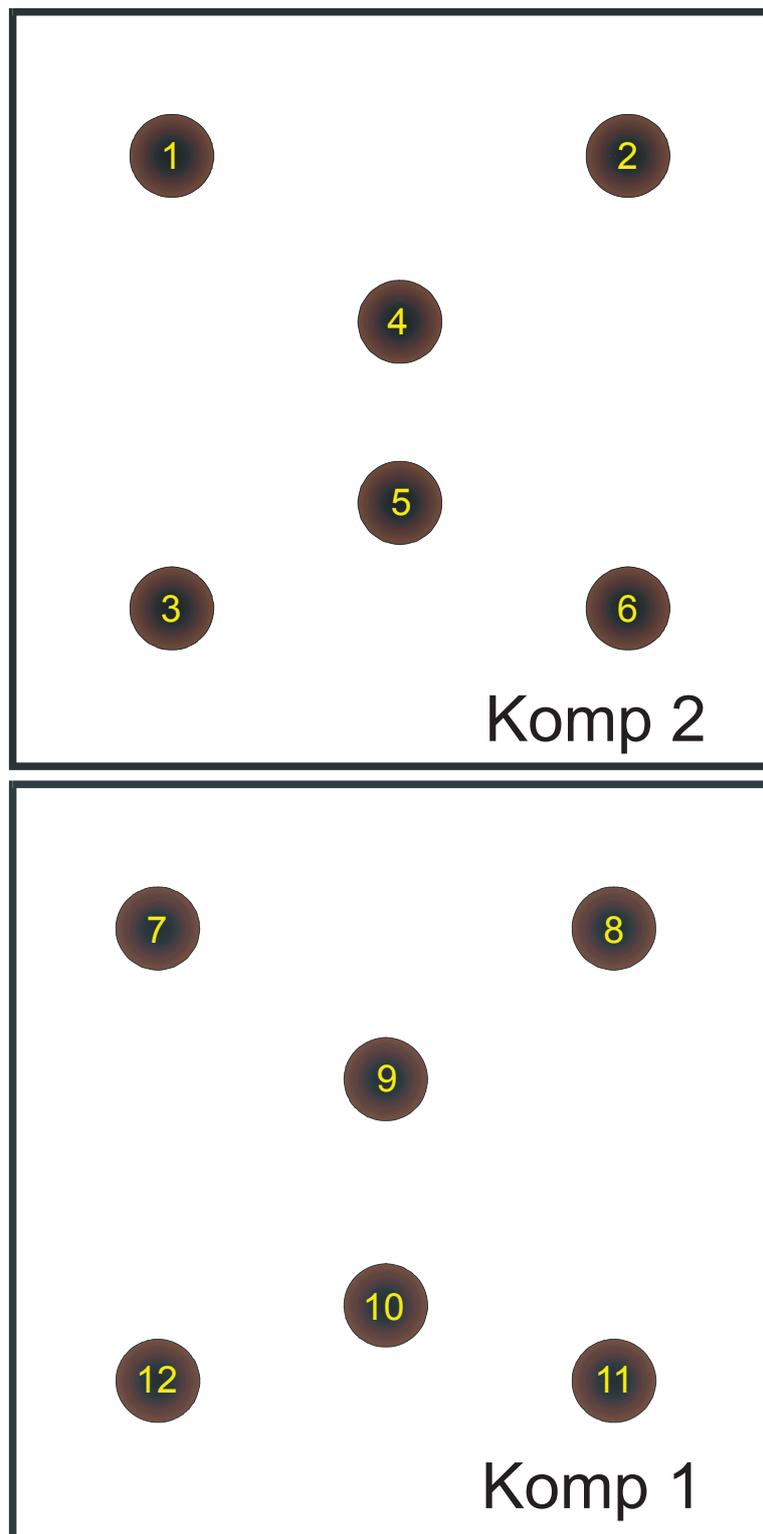


Abbildung 5.14: Bohrkern-Entnahmestellen



Abbildung 5.15: Verbleibendes Bohrloch der Kernbohrung



Abbildung 5.16: Gewinnung des Bohrkernes (Probe)

5.4 Ergebnisse der Untersuchungen BOKU

Die Universität für Bodenkultur – ABF-BOKU Wien zeigte im Rahmen einer Projektpräsentation an der Technischen Universität Wien reges Interesse an den Großversuchen in Allerheiligen. Ein auf diese Weise beinahe 6 Jahre lang abgelagertes und umfassend charakterisiertes Material stand für die Untersuchungen im Rahmen der Forschung der Universität für Bodenkultur sonst nirgendwo zur Verfügung. Nach Abstimmung mit den Auftraggebern wurden aus den Kompartimenten Proben entnommen, welche der BOKU für weiterführende Untersuchungen zur Verfügung gestellt wurden. Die Probenahme erfolgte auf die gleiche Weise mittels Kernbohrung. Die Probenahmestellen sind in Abbildung 5.17 ersichtlich.

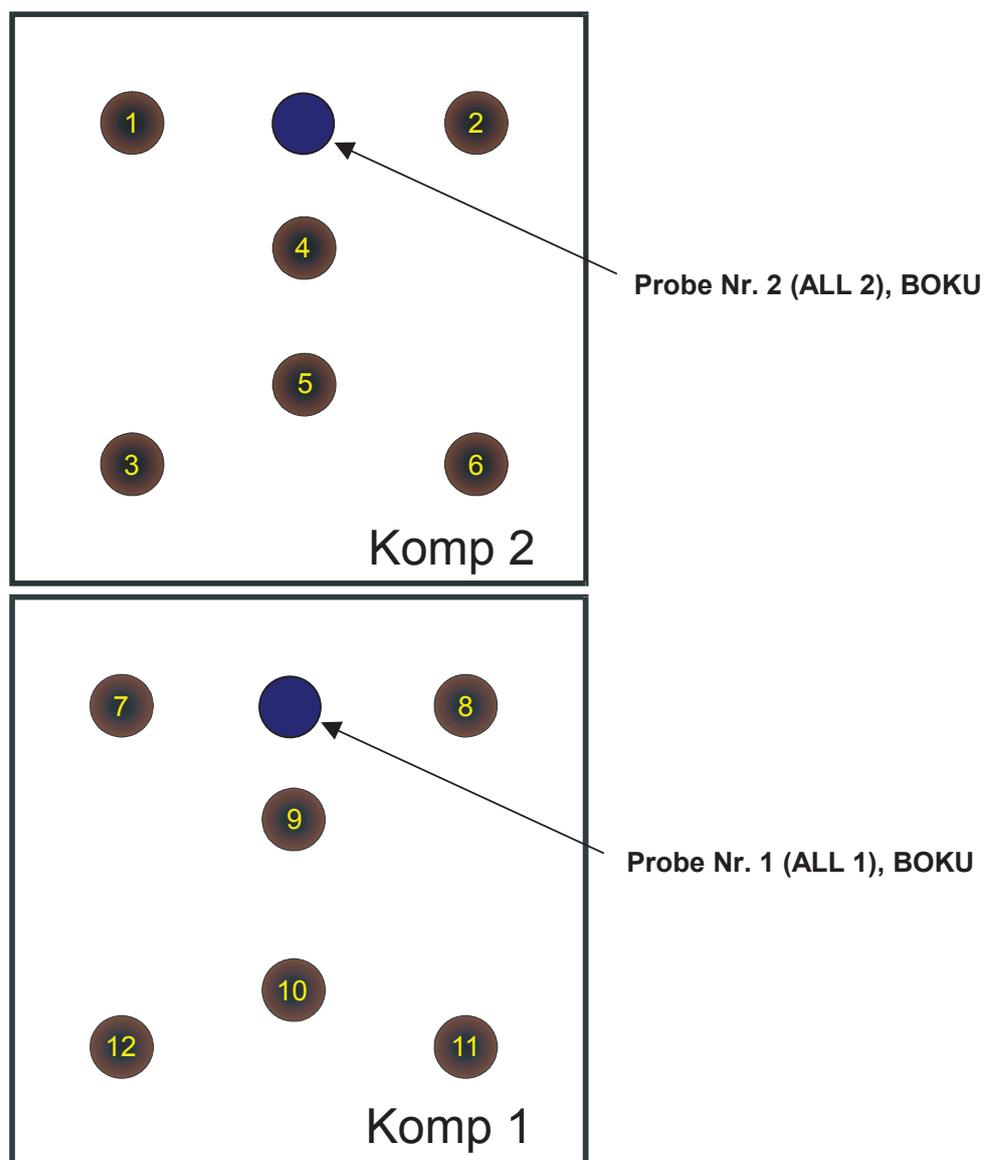


Abbildung 5.17: Entnahmestellen der Probekerne BOKU (ALL 1 bzw. ALL 2)

5.4.1 Ergebnisse der Untersuchungen in Kurzform

Tabelle 5.1: Ergebnisse der Untersuchungen BOKU – Wien [24]

Parameter	Probe 1 (ALL 1)	Probe 2 (ALL 2)
Wassergehalt WG (% FS)	35,4	36,7
Glühverlust GV (% TS)	28,9	27,9
TOC (% TS)	15,8	15,2
N-gesamt (%TS)	1,12	1,11
SHN-säurehydrolysierbarer N (6n HCl, 110°C, 6 h) (%TS)	0,75	0,68
NSHN = N-gesamt – SHN (%TS)	0,37	0,43
Austauschbarer N (K ₂ SO ₄ -Eluat minus H ₂ O-Eluat) (%TS)	< 0,03	< 0,03
Eluierbarer N (H ₂ O-Eluat) (%TS)	0,149	0,135

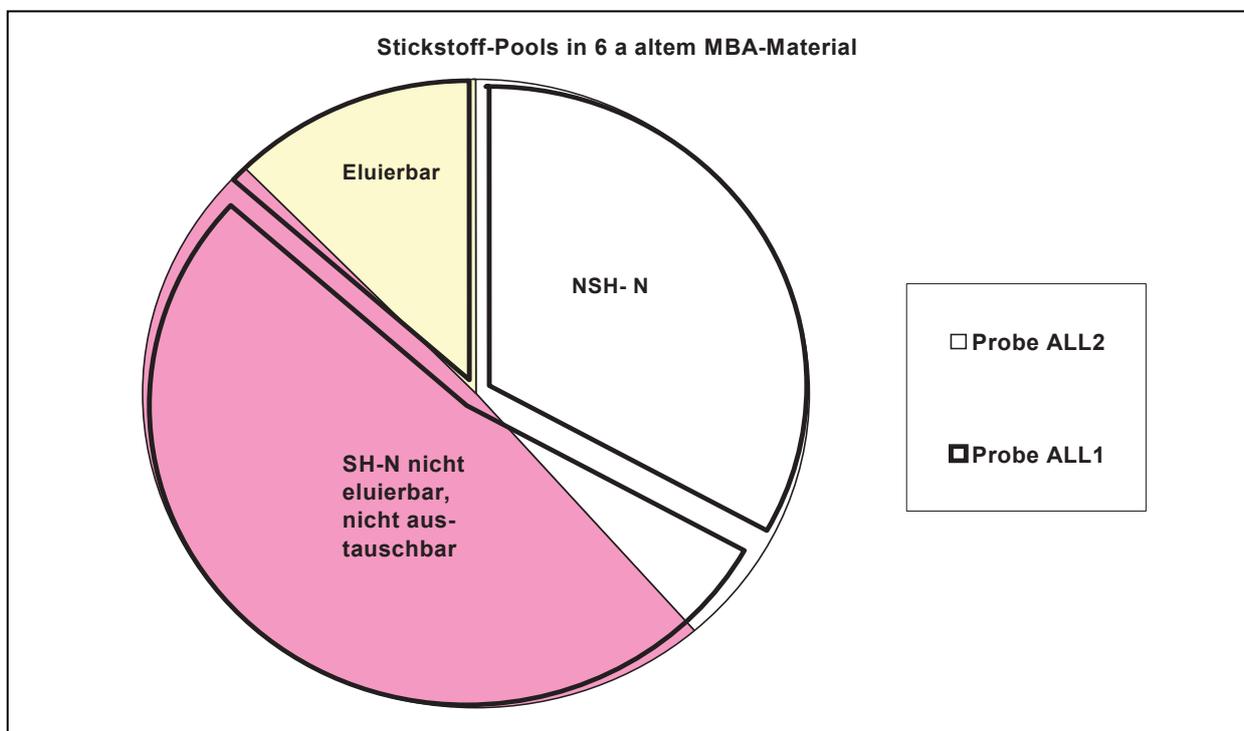


Abbildung 5.18: Stickstoff-Pools im Probenmaterial ModelIdeponie [24]

5.4.2 Interpretation der Ergebnisse [24]

Durch den geringen oder nicht vorhandenen Wasseraustausch haben sich lösliche N-Komponenten- vor allem $\text{NH}_4\text{-N}$ - stark angereichert. Ein guter Teil des N ist sehr stark gebunden (NSH-N, etwa 1/3). Ca. 50 – 60 % sind nicht eluierbar - und auch nicht austauschbar. Dieser refraktäre, jedoch säurehydrolysierbare N - Pool besteht sehr wahrscheinlich überwiegend aus schwer abbaubaren Zellwandstrukturen, sowie Huminstoffen. ^{15}N -NMR - Untersuchungen und IR - Spektroskopie vergleichbarer, mit Kompost behandelte Böden sprechen dafür (hoher Amidstickstoffanteil, in Huminstoffen vorkommende Heterozyklen nachgewiesen). Auch eine sterische Hinderung des Abbaus ist möglich. Der austauschbare Anteil ist - zumindest bei der verwendeten Bestimmungsmethode - bei den beiden Proben gering. In anderen MBA-Materialien - z.B. bei geringem löslichen N - Anteil - kann der austauschbare Pool größer als der lösliche Pool sein.

Die Untersuchungen des Institutes für Abfallwirtschaft ABF – BOKU wurden im Rahmen von Forschungsarbeiten unentgeltlich durchgeführt und dienen lediglich als zusätzliche Information zum Probenmaterial aus den Versuchskompartimenten der Modeldeponie Allerheiligen.

6 Schlussfolgerungen

Die kontinuierlichen Messungen der Gasmenge und -qualität wurden laut Beprobungsplan durchgeführt und lieferten anschauliche Ergebnisse. Die Gasmenge zeigte bis zum Ende der Projektphase 2 einen exponentiell degressiven Verlauf in allen Versuchskompartimenten. Bei Wiederaufnahme der Messungen nach der beobachtungsfreien Zeit konnte eine erhöhte Gasproduktion in den Kompartimenten beobachtet werden. Dies lässt auf das Eindringen von Meteorwässern in die Versuchskompartimente schließen. Erwartungsgemäß konnte bei den rückbewässerten Kompartimenten eine höhere Gasbildung gemessen werden. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen der Gasspendensummen zeigten deutlich, dass das über fünf Jahre lang abgelagerte Material kaum mehr Gasbildungspotenzial besitzt. Es konnte eine Verringerung von 98 % des Gasbildungspotenzials des eingebauten Materials festgestellt werden. Bei den Messungen der Gasqualität zeigte sich eine deutliche Reduktion des Methangehaltes von 55 % auf ca. 20 %. Die Messwerte mit hohem Sauerstoff- bzw. Stickstoffanteil im letzten Versuchsjahr lassen auf das Eindringen von Umgebungsluft in die Entgasungssysteme der Versuchskompartimente schließen.

Durch die Undichtigkeiten wurden die Sickerwasserbilanz sowie die qualitative Sickerwasserbeurteilung aus dem Untersuchungsprogramm des letzten Versuchsjahres gestrichen. Somit konnte keine wissenschaftlich fundierte Sickerwasserbilanz erstellt und damit keine quantitativen Aussagen über das Langzeitverhalten der Sickerwasseremissionen von MBA-Material getroffen werden.

Die bis dahin gewonnenen Analysenwerte aus den gezogenen Sickerwasserproben zeigen eine deutliche Verringerung der organischen Belastung und somit eine klar gesunkene biologische Aktivität im abgelagerten Müll. Bei den rückbewässerten Kompartimenten konnte im Gegensatz zu den unbewässerten eine schnellere Reduktion dieser Parameter festgestellt werden. So verringerte sich etwa der CSB-Wert im rückbewässerten Kompartiment 2 im Laufe von vier Jahren um über 95 %. Auch die Leitfähigkeit und die Schwermetallanteile im Sickerwasser wurden in den rückbewässerten Kompartimenten rascher und deutlicher reduziert. Dabei ist von Verdünnungseffekten in den bewässerten Kompartimenten auszugehen bzw. von einer Auswaschung der gebildeten Sickerwasserwege. Generell lag der pH-Wert der bewässerten Kompartimente unter dem der unbewässerten Versuchszellen.

Die abschließende Beprobung des Feststoffs zeigte eine deutlich reduzierte Atmungsaktivität nach 4 bzw. 7 Tagen, was eine wesentliche Komponente zur Stabilisierung des MBA-Materials darstellt. So lag der AT_4 -Wert bei unter 3 g O_2 pro kg Trockensubstanz und somit ca. 60 % unter dem Ausgangswert des eingebauten Materials, der AT_7 -Wert lag um rund 65 % darunter. Der Brennwert (H_0) des beprobten Outputmaterials hatte den verordneten Grenzwert von 6.000 kJ/kg bzw. 6.600 kJ/kg (DVO 1996 i.d.g.F.) unterschritten, verringerte sich jedoch gegenüber dem Inputmaterial nur um etwa 10 %.

Bei den untersuchten Probenmaterialien konnte teilweise eine Aufkonzentrierung von Schwermetallen im Feststoff beobachtet werden, was einerseits auf die eingeschränkte Probenrepräsentanz und andererseits auf die Dichtezunahme, hervorgerufen durch die

Abbau- und Setzungsvorgänge des eingebauten Müllkörpers, zurückzuführen ist. Die Bleikonzentration in der Trockensubstanz war bei der abschließenden Untersuchung um das dreifache höher als in der Ausgangsprobe, der Kupfergehalt hatte sich verdoppelt, die Chrom- und Zinkkonzentrationen waren im Vergleich zum Ausgangsmaterial leicht gestiegen.

„Der Transport von Blei findet nur in geringem Umfang statt, da das Blei meist in Form stabiler ionischer Organo-Blei-Komplexe bzw. unlöslicher Organo-Blei-Chelate an Ton und Humusmaterialien gebunden vorliegt. Der lösliche ... Anteil steigt mit abnehmendem pH-Wert“ [25].

Cadmium- und Nickelgehalt der Trockensubstanz waren geringfügig niedriger, die Quecksilberkonzentration deutlich niedriger als bei den Feststoffanalysen vor dem Einbau.

„Das Verhalten der Metalle kann nur teilweise durch die Auflösung von Hydroxiden und Carbonaten bzw. durch Fällungsgleichgewichte erklärt werden. Zum anderen Teil ist das Verhalten nämlich durch Oberflächenvorgänge – insbesondere durch Adsorption bestimmt. Betrachtet man die Interaktion zwischen Metallen und Böden und/oder Sedimenten, so sind die pH-Bedingungen auch im Falle einer Adsorption von wesentlicher Bedeutung. Typische Adsorptionskurven von Metallen an anorganischen Substraten wie z.B. Eisenoxihydroxide nehmen von beinahe null bis 100 % innerhalb eines pH-Bereiches von 1 - 2 Einheiten zu. Systeme die reich an organischem Material sind, bedecken die Metalladsorptionskurven einen weiteren pH-Bereich ab als für anorganische Substrate“ [26].

Die bautechnische Ausführung der Versuchskompartimente würde nach heutigem Wissensstand auf stabilere Weise erfolgen, um die Langzeitstabilität der Konstruktion sicherzustellen. Für die Wandungen der Zellen wären Ausführungen in Beton- bzw. in glasfaserverstärkter Kunststoffbauweise mit zylindrischer bzw. nach unten leicht konischer Form zu empfehlen.

7 Verzeichnisse

7.1 Literatur

- [1] Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002 idF v. 16. 7. 2002) § 1 Abs. 2 Z 3.
- [2] UMWELTBUNDESAMT GMBH; Umweltsituation in Österreich; Siebenter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat – 6.1.3.2 Sektorale Emissionstrends; Wien; Juli 2004.
- [3] UMWELTBUNDESAMT GMBH; Umweltsituation in Österreich; Siebenter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat – 3.11.3.3 Umweltauswirkungen der Abfallbehandlung; Wien; Juli 2004.
- [4] KRAPPENBAUER, A.: Bewertung der Methan-Emissionen, in: Lechner P. (Hrsg.): Emissionsverhalten von Restmüll – Dokumentation eines Arbeitsgesprächs (29. Mai 1995); Waste Reports Nr. 02/95; Wien; August 1995.
- [5] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT; Bundes-Abfallwirtschaftsplan – Bundesabfallbericht 2001 – 2.1 Überblick über die Abfälle sowie deren Behandlung in Österreich ; Wien; 2001.
- [6] UMWELTBUNDESAMT GMBH; Umweltsituation in Österreich; Siebenter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat – 3.11.3.1 Abfallaufkommen; Wien; Juli 2004.
- [7] Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002 idF v. 16. 7. 2002) § 76 Abs. 1 Z 2.
- [8] UMWELTBUNDESAMT GMBH; Umweltsituation in Österreich; Siebenter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat – 3.11.3.2 Abfallbehandlungsanlagen; Wien; Juli 2004.
- [9] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT: „Ablagerungsverhalten mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfälle“; Schriftenreihe des BMLFUW; Band 3/2001; Wien; Jänner 2001.
- [10] BGBl. II NR. 49/2004: Änderung der Deponieverordnung vom 23. 01. 2004, § 2 Z 26.
- [11] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT: „Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen“; 1.1 Allgemeines; Wien; März 2002.

- [12] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT; Bundes-Abfallwirtschaftsplan – Bundesabfallbericht 2001 – 2.4.2 Thermische Verwertungs- und Behandlungsanlagen; Wien; 2001.
- [13] BGBl. II NR. 49/2004: Änderung der Deponieverordnung vom 23. 01. 2004, § 5 Z 7 lit. f.
- [14] BGBl. II NR. 49/2004: Änderung der Deponieverordnung vom 23. 01. 2004, Anlage 5, Punkt G.
- [15] Steiner, G.: „Ablagerungsverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandeltem Material unter besonderer Berücksichtigung von Wasserhaushalt und Materialeigenschaften“; Diplomarbeit; Leoben; 1999.
- [16] VERBAND ÖSTERREICHISCHER ENTSORGUNGSBETRIEBE; „Entwurf des einvernehmlichen Ergebnisses des VÖEB Arbeitskreises H₀“; Wien; April 2001.
- [17] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT: „Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen“; Wien; März 2002.
- [18] STABER, M.: Modelldeponie Allerheiligen - Gasbildung aus mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen unter Deponiebedingungen - Erste Ergebnisse; Leoben; 1998.
- [19] RANINGER, B.; NELLES, M.: „Fachliche Stellungnahme zur Studie „Grundlagen für eine technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Abfällen“ des Bundesministeriums für Umwelt Jugend und Familie (BMJUF) 1998, Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik im Auftrag des Interessentenverbund MBA; Leoben, Hof/Salzburg; Oktober 1998.
- [20] RANINGER, B.; NELLES, M.; HOFER, M.; LORBER, K.E.; NEFF, A.; RAGOBNIG, A.; SCHULIK, J.; STABER, M.; STEINER, G.; „Pilotprojekt zur MBRVD im Mürzverband – 2. Projektphase: Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen; Leoben; September 2000.
- [21] WALACH, G.: „Geophysikalische Versuchsmessungen zur Erkundung möglicher Sickerwasserwege; Technischer Bericht; Leoben; Jänner 2002.
- [22] BGBl. 164/1996: Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung) vom 10. 04. 1996; § 2, Z 10.

- [23] LORBER, K.E; NELLES, M.; RAGOSSNIG, A.; RANINGER, B. & SCHULIK, J. (2001): Longterm comparison between mechanical-biological pre-treated and non pre-treated landfill. In: T.H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann, "Proceedings of the eight international waste management and landfill symposium. Sardinia 2001", Vol I, pp. 239-246.
- [24] MOSTBAUER, P.: „Untersuchungen der Proben aus den Versuchsfeldern der Modelldeponie Allerheiligen“; ABF – BOKU; Technischer Kurzbericht; Wien; Juli 2003.
- [25] Kümmler, G.: „Zum Verhalten von potentiellen Schadstoffen in Hausmüll und Hausmüllkompost“; Reihe 15: Umwelttechnik, Nr. 37; VDI Verlag; Düsseldorf; 1985. S. 40.
- [26] Sabbas T.; Mostbauer P.; Lechner P.: „Deponien – Prozesse und Faktoren jenseits der Nachsorge“ - Endbericht; Auftraggeber: Magistrat der Stadt Wien; Dezember 1998.

7.2 Verwendete Abkürzungen/Begriffe

%	Prozent
°C	Grad Celsius
a	Jahr
ADRS	Abdampfrückstand
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
AT ₄ , AT ₇	Atmungsaktivität des Deponiematerials in 4 bzw. 7 Tagen
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BAWP	Bundes-Abfallwirtschaftsplan
BSB ₅	biologischer Sauerstoff-Bedarf in fünf Tagen
BTX	Aromatische Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylol
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
Cd	Cadmium
CH ₄	Methan
Cl	Chlor
CO ₂	Kohlendioxid
Cr	Chrom
CSB	chemischer Sauerstoff-Bedarf
Cu	Kupfer
d	Tag
DVO	Deponieverordnung
EOX	Extrahierbare organische Halogenverbindungen
FS	Feuchtsubstanz
g	Gramm
GS ₉₀	Gasbildungspotenzial in 90 Tagen
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
Hg	Quecksilber

H ₀	oberer Heizwert; der Brennwert H ₀ (auch oberer Heizwert genannt) ist der Quotient aus der durch vollständige Verbrennung freiwerdende Wärmemenge und der Masse des Stoffes, unter der Voraussetzung, dass die Temperatur des Brennstoffes vor dem Verbrennen und die seiner Verbrennungsprodukte 25 °C beträgt, das vor der Verbrennung im Brennstoff bereits vorhandene und durch die Verbrennung zusätzlich gebildete Wasser nach der Verbrennung in flüssiger Form vorliegt, die Verbrennungsprodukte von Kohlenstoff und Schwefel als Kohlendioxid und Schwefeldioxid gasförmig vorliegen und eine Oxidation des Stickstoffes nicht stattgefunden hat
i.W.	im Wesentlichen
IAE	Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (vormals: IED)
IED	Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik
KDB	Kunststoffdichtungsbahn
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
KW	Kohlenwasserstoffe
LF	Leitfähigkeit
m.B.	mit Bewässerung
MBA	mechanisch-biologische Anlage
MBRVD	Mechanisch-Biologische Restabfallbehandlung vor der Deponierung
Mg	Megagramm
mg	Milligramm
mS	Millisievert
NH ₄	Ammonium
Ni	Nickel
NI	Norm-Liter
Nm ³	Norm-Kubikmeter
o.B.	ohne Bewässerung
O ₂	Sauerstoff
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe

Pb	Blei
rd.	rund
SO ₄	Sulfat
TASI	Technische Anleitung Siedlungsabfall
TOC	Total Organic Carbon
TS	Trockensubstanz
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
WG	Wassergehalt
z.T.	zum Teil
z.Z.	zur Zeit
Zn	Zink

7.3 Tabellen

Tabelle 2.1:	Wassergehalt, oberer Heizwert und Atmungsaktivität des Probenmaterials (< 12 mm).....	20
Tabelle 2.2:	Gesamtschadstoffgehalte im Rottegut (Mischprobe 9) und Grenzwerte der Deponieverordnung.....	22
Tabelle 2.3:	Eluatwerte im Rottegut (Mischprobe 9) und Grenzwerte der Deponieverordnung.....	22
Tabelle 2.4:	Analysenwerte der Gasprognose des Ausgangsmaterials.....	23
Tabelle 2.5:	Input in die Kompartimente.....	24
Tabelle 2.6:	Einstellung des geforderten Wassergehaltes.....	24
Tabelle 4.1:	Abdruckversuch aller Kompartimente.....	34
Tabelle 4.2:	Beprobungsplan September 2001 – September 2003.....	53
Tabelle 4.3:	Detaillierter Zeitplan der geplanten Sickerwasserbeprobungen.....	54
Tabelle 4.4:	Entwicklung der Gasqualität.....	64

Tabelle 4.5:	Sickerwasserparameter für nicht rückbewässerte Kompartimente	68
Tabelle 4.6:	Sickerwasserparameter für rückbewässerte Kompartimente	68
Tabelle 4.7:	Sickerwassermengen	70
Tabelle 4.8:	Sickerwasserzusammensetzung [mg/l]	79
Tabelle 4.9:	Entwicklung der limitierenden Parameter für die Restabfall Deponierung während der mechanisch-biologischen Behandlung bzw. Ablagerung in den Versuchszellen	82
Tabelle 4.10:	Ergebnisse der Feststoffuntersuchung (1)	83
Tabelle 4.11:	Ergebnisse der Feststoffuntersuchung (2)	83
Tabelle 4.12:	Ergebnisse der Feststoffuntersuchung (3)	84
Tabelle 4.13:	Ergebnisse der Eluatuntersuchung (1)	88
Tabelle 4.14:	Ergebnisse der Eluatuntersuchung (2)	89
Tabelle 4.15:	Gasspendensummen der einzelnen Proben	95
Tabelle 4.16:	Gasspendensummen 1998 – 2003	95
Tabelle 5.1:	Ergebnisse der Untersuchungen BOKU – Wien [24].....	108

7.4 Abbildungen

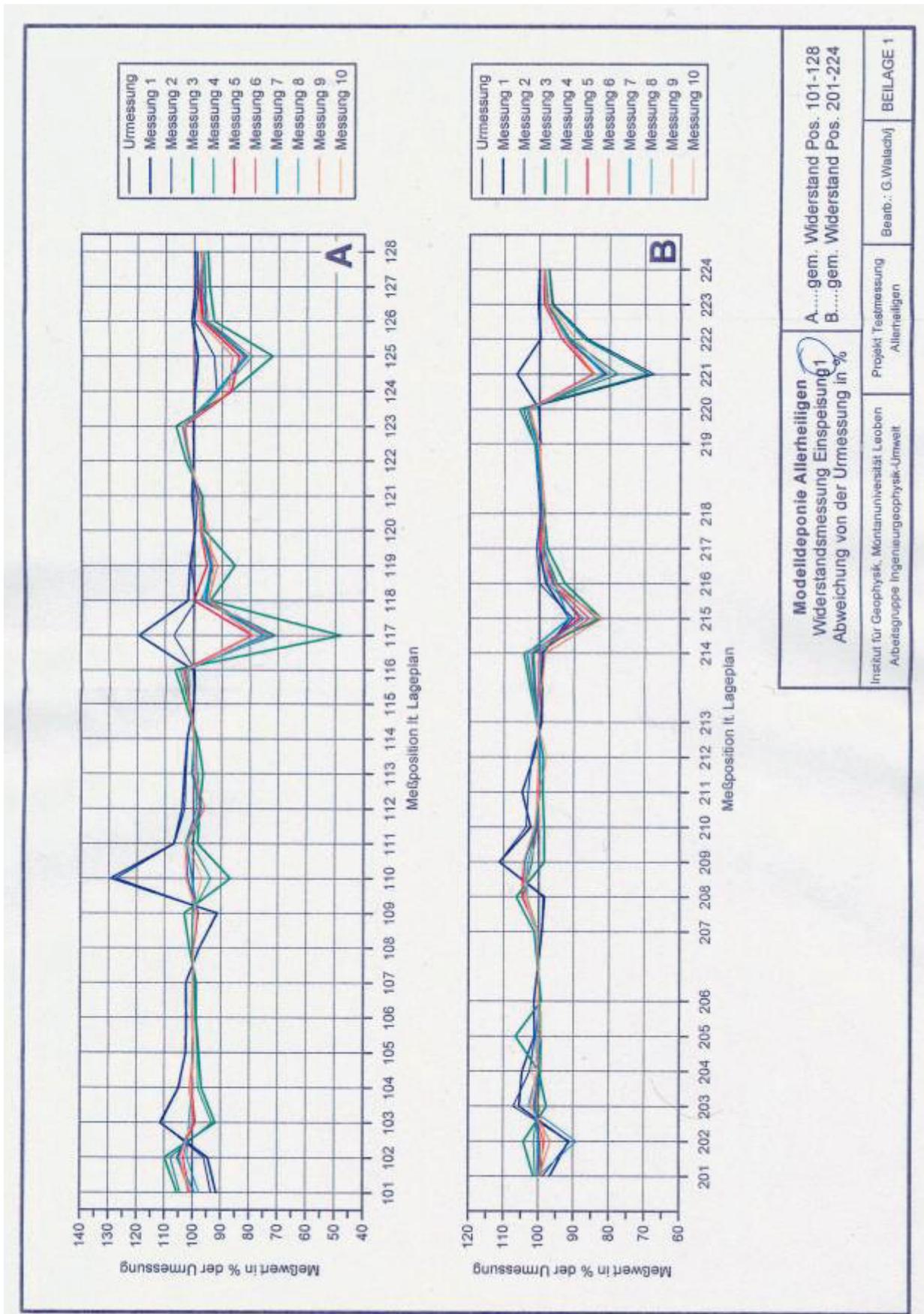
Abbildung 2.1:	Grundriss der 4 Versuchskompartimente	15
Abbildung 2.2:	Detailskizze eines Kompartiments der Modelldeponie Allerheiligen [15] ...	16
Abbildung 2.3:	Befüllung der 4 Kompartimente mit Rottegut.....	17
Abbildung 2.4:	Befüllung der 4 Kompartimente mit Rottegut.....	17
Abbildung 2.5:	Kompartiment mit Sickerwasserleitungen	18
Abbildung 2.6:	Verfüllung der Zwischenräume	18
Abbildung 3.1:	Beginn der Arbeiten.....	26
Abbildung 3.2:	Errichtung der Stützschalungen	26
Abbildung 3.3:	Thermofühlerkabel im eingebauten Material	27

Abbildung 3.4:	Gasdrainageschicht.....	27
Abbildung 3.5:	Schlauchverlegung der Rückbewässerungsleitungen.....	28
Abbildung 3.6:	Verschweißtes Kompartiment.....	28
Abbildung 3.7:	Befüllte Kompartimente mit Gasdrainageschicht.....	29
Abbildung 3.8:	Fertiggestellte Kompartimente (ohne Überschüttung.....	29
Abbildung 3.9:	Oberflächenbewuchs während der unbeaufsichtigten Phase.....	30
Abbildung 4.1:	Richtung Böschung geneigter Gasbrunnen (35° Neigungswinkel).....	33
Abbildung 4.2:	Kanalkamera mit Monitor.....	33
Abbildung 4.3:	Vor dem Abdruckversuch.....	35
Abbildung 4.4:	Angeschlossener Druckluftschlauch.....	36
Abbildung 4.5:	Messaufbau und Lage der Abbildungspunkte.....	38
Abbildung 4.6:	Zeitlicher Verlauf der Messungen und der Wassereinspeisung.....	39
Abbildung 4.7:	Einschlagen der Messpunkte.....	42
Abbildung 4.8:	Bewässerung von Kompartiment 2.....	42
Abbildung 4.9:	Datenaufzeichnung.....	43
Abbildung 4.10:	Verwendeter Tracer, Versuch 1.....	44
Abbildung 4.11:	Befüllung und Homogenisierung.....	45
Abbildung 4.12:	offenes Sickerwasserleitungsventil vor der Bewässerung, Komp. 2.....	45
Abbildung 4.13:	Sickerwasseraustritt, 1 Tag nach Bewässerung.....	46
Abbildung 4.14:	Schlauchleitung zum Kompartiment.....	47
Abbildung 4.15:	„Tracer-Strahl“.....	47
Abbildung 4.16:	Vorplatz nach der Bewässerung.....	48
Abbildung 4.17:	gelbe Sickerwasserfahne (links).....	48
Abbildung 4.18:	Monitor der Kanalkamera.....	50
Abbildung 4.19:	Kanalkamera.....	50

Abbildung 4.20:	Einführen der Kanalkamera.....	51
Abbildung 4.21:	Zähleinrichtung Kanalkamera.....	51
Abbildung 4.22:	Vor-Ort-Messung der Gasmenge.....	56
Abbildung 4.23:	Gasbildung des Kompartiments 1 (ohne Bewässerung).....	57
Abbildung 4.24:	Gasbildung des Kompartiments 3 (ohne Bewässerung).....	57
Abbildung 4.25:	Gasbildung des Kompartiments 2 (mit Rückbewässerung).....	58
Abbildung 4.26:	Gasbildung des Kompartiments 4 (mit Rückbewässerung).....	58
Abbildung 4.27:	vereinfachte Interpolation der Deponiegasmenge (Komp. 1 & 3).....	59
Abbildung 4.28:	vereinfachte Interpolation der Deponiegasmenge (Komp. 2 & 4).....	60
Abbildung 4.29:	kumulierte Gasmenge.....	61
Abbildung 4.30:	Gaszusammensetzung für Kompartiment 1.....	62
Abbildung 4.31:	Gaszusammensetzung für Kompartiment 3.....	62
Abbildung 4.32:	Gaszusammensetzung für Kompartiment 2.....	63
Abbildung 4.33:	Gaszusammensetzung für Kompartiment 4.....	63
Abbildung 4.34:	Verhältnis Methan/Kohlendioxid in Kompartiment 1.....	65
Abbildung 4.35:	Verhältnis Methan/Kohlendioxid in Kompartiment 3.....	65
Abbildung 4.36:	Verhältnis Methan/Kohlendioxid in Kompartiment 2.....	66
Abbildung 4.37:	Verhältnis Methan/Kohlendioxid in Kompartiment 4.....	66
Abbildung 4.38:	Sickerwassermenge für nicht rückbewässerte Kompartimente.....	69
Abbildung 4.39:	Sickerwassermenge für rückbewässerte Kompartimente.....	69
Abbildung 4.40:	Niederschlag und Sickerwasseranfall.....	70
Abbildung 4.41:	pH-Werte im Sickerwasser aus allen vier Kompartimenten.....	71
Abbildung 4.42:	Elektrische Leitfähigkeit im Sickerwasser aller Kompartimente.....	72
Abbildung 4.43:	Sickerwassertemperatur aller vier Kompartimente.....	73
Abbildung 4.44:	TOC-Konzentrationen im Sickerwasser.....	74

Abbildung 4.45: CSB-Konzentrationen der unbewässerten Kompartimente.....	75
Abbildung 4.46: CSB-Konzentrationen der rückbewässerten Kompartimente	76
Abbildung 4.47: CSB-Konzentrationen der Mischproben.....	76
Abbildung 4.48: BSB ₅ -Konzentrationen im Sickerwasser	77
Abbildung 4.49: BSB ₅ -Konzentrationen der Mischproben.....	77
Abbildung 4.50: Verhältnis BSB ₅ /CSB.....	78
Abbildung 4.51: Temperaturverlauf im Kompartiment 1	80
Abbildung 4.52: Temperaturverlauf im Kompartiment 4.....	81
Abbildung 4.53: Vergleich Kompartimenttemperatur – Umgebungstemperatur	81
Abbildung 4.54: Atmungsaktivität nach 4 und 7 Tagen	85
Abbildung 4.55: Oberer und unterer Heizwert.....	85
Abbildung 4.56: Cadmium, Quecksilber	86
Abbildung 4.57: Nickel, Blei.....	86
Abbildung 4.58: Chrom, Kupfer	87
Abbildung 4.59: Zink.....	87
Abbildung 4.60: Glühverlust, TOC.....	88
Abbildung 4.61: Eluat – Abdampfrückstand, Chemischer Sauerstoffbedarf.....	89
Abbildung 4.62: Eluat – Ammonium, Sulfat.....	90
Abbildung 4.63: Eluat – pH-Wert.....	90
Abbildung 4.64: Eluat – Elektrische Leitfähigkeit	91
Abbildung 4.65: Eluat - Fluor.....	91
Abbildung 4.66: Inkubationstests Beprobungsschema	92
Abbildung 4.67: Gasspendensumme nach 21 Tagen (Proben 4, 5, 7, 12)	93
Abbildung 4.68: Gasspendensumme nach 21 Tagen (Proben 2, 6, 9, 11)	93
Abbildung 4.69: Gasspendensumme nach 90 Tagen (Proben 1, 3, 8, 10)	94

Abbildung 4.70:	Schematische Versuchsanordnung Gasspendensumme [17]	96
Abbildung 5.1:	Rohrhammerversuch	97
Abbildung 5.2:	Rohrhammerversuch	98
Abbildung 5.3:	Ziehen des Rohres mittels Radlader	98
Abbildung 5.4:	Gewinnung eines Bohrkernes	99
Abbildung 5.5:	Entfernen der Überschüttung	100
Abbildung 5.6:	Entfernung der Überschüttung	100
Abbildung 5.7:	Verbindungsmaße am Entgasungsrohr	101
Abbildung 5.8:	Minibagger für Feinarbeiten	101
Abbildung 5.9:	Stützschalung der Kompartimente	102
Abbildung 5.10:	Entfernung der Abdeckfolie	102
Abbildung 5.11:	Freigelegte Kompartimente 1 & 2	103
Abbildung 5.12:	Entfernen der Abdeckfolie	103
Abbildung 5.13:	Vorbereitung für Bohrkernentnahme	104
Abbildung 5.14:	Bohrkern-Entnahmestellen	105
Abbildung 5.15:	Verbleibendes Bohrloch der Kernbohrung	106
Abbildung 5.16:	Gewinnung des Bohrkernes (Probe)	106
Abbildung 5.17:	Entnahmestellen der Probekerne BOKU (ALL 1 bzw. ALL 2)	107
Abbildung 5.18:	Stickstoff-Pools im Probenmaterial Modelldepot [24]	108



Modelledeponie Allerheiligen
 Widerstandsmessung Einspeisung 1
 Abweichung von der Urmessung in %

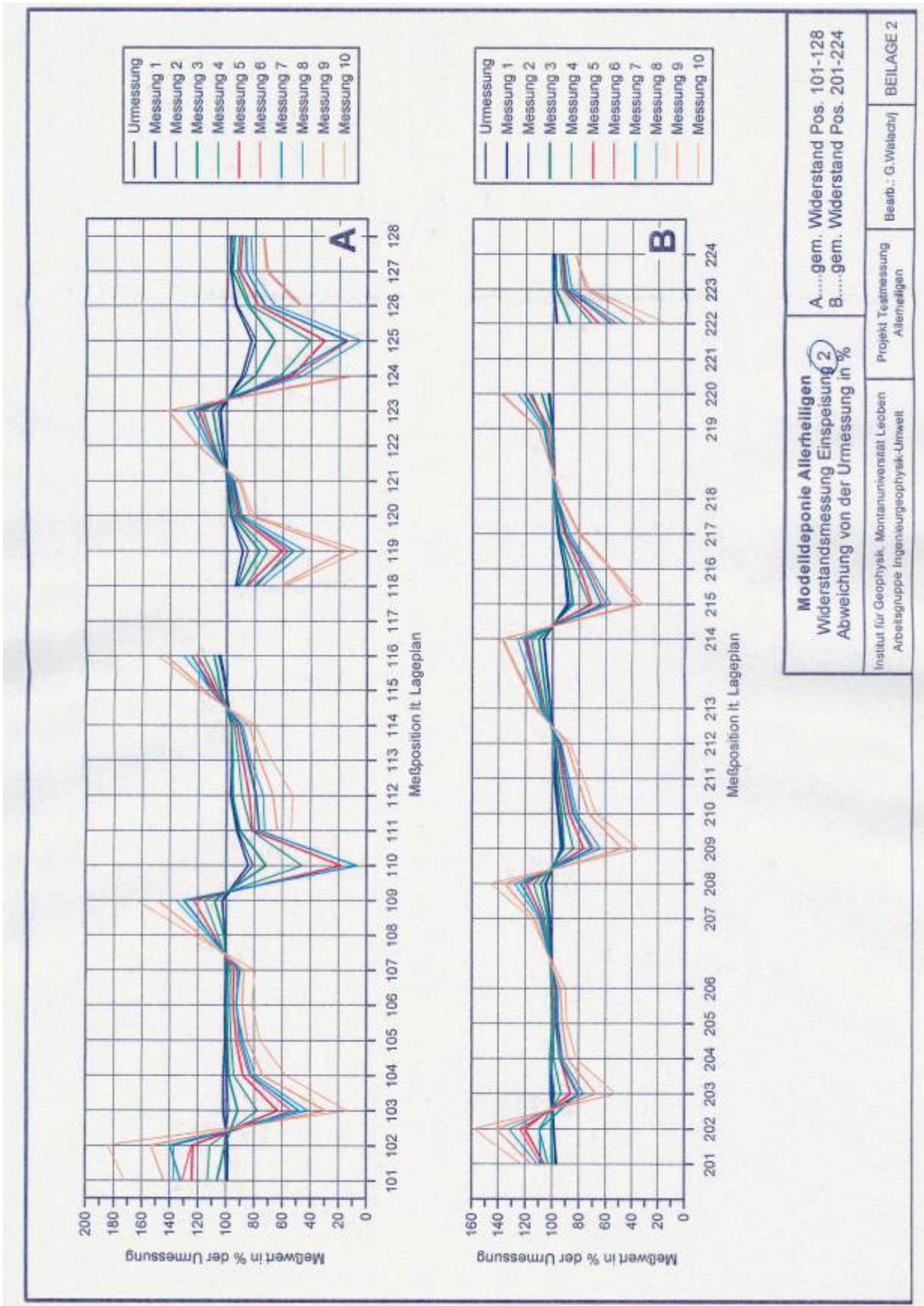
A.....gem. Widerstand Pos. 101-128
 B.....gem. Widerstand Pos. 201-224

Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben
 Arbeitsgruppe Ingenieurgeophysik-Umwelt

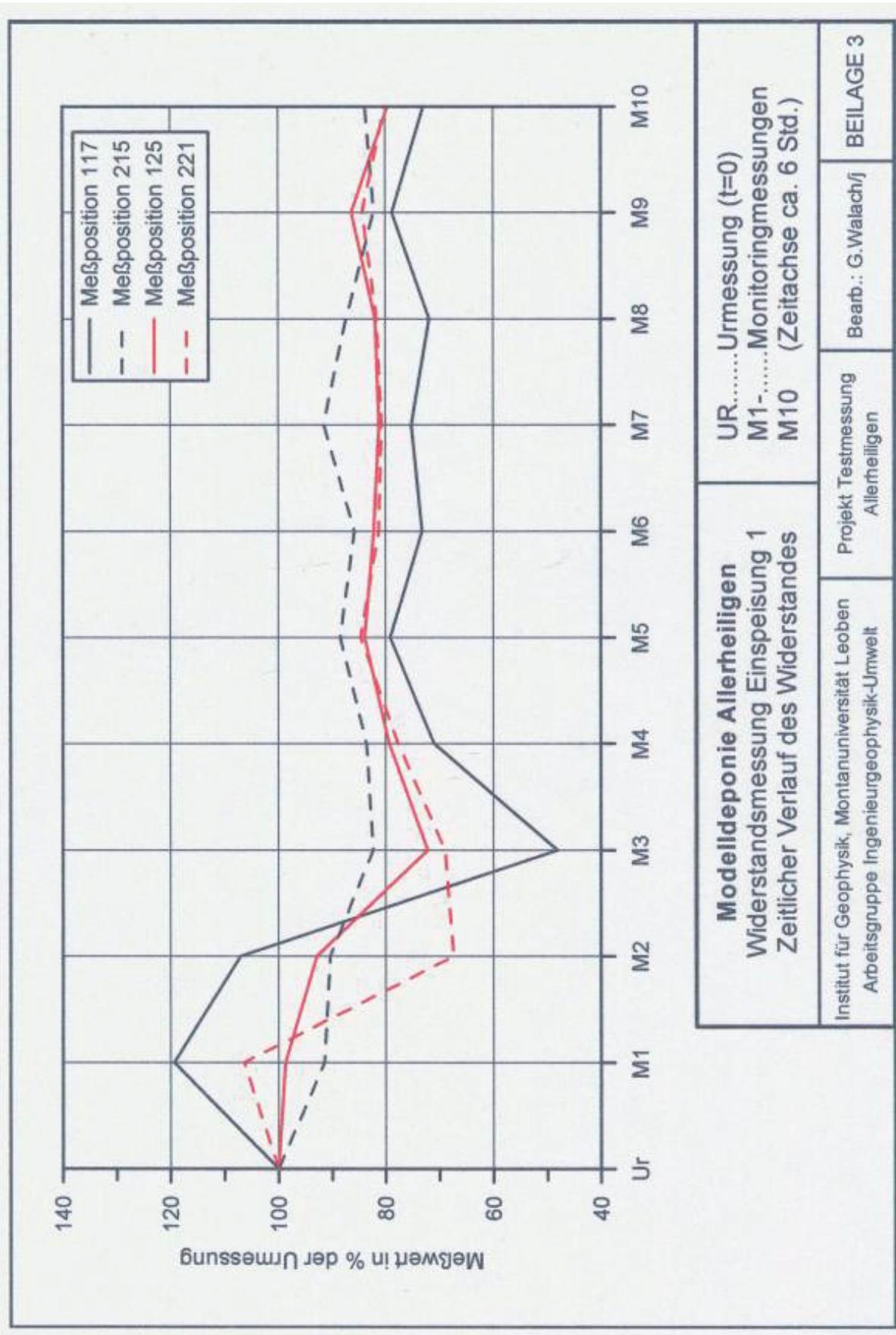
Projekt Festmessung
 Allerheiligen

Bearb.: G. Walach

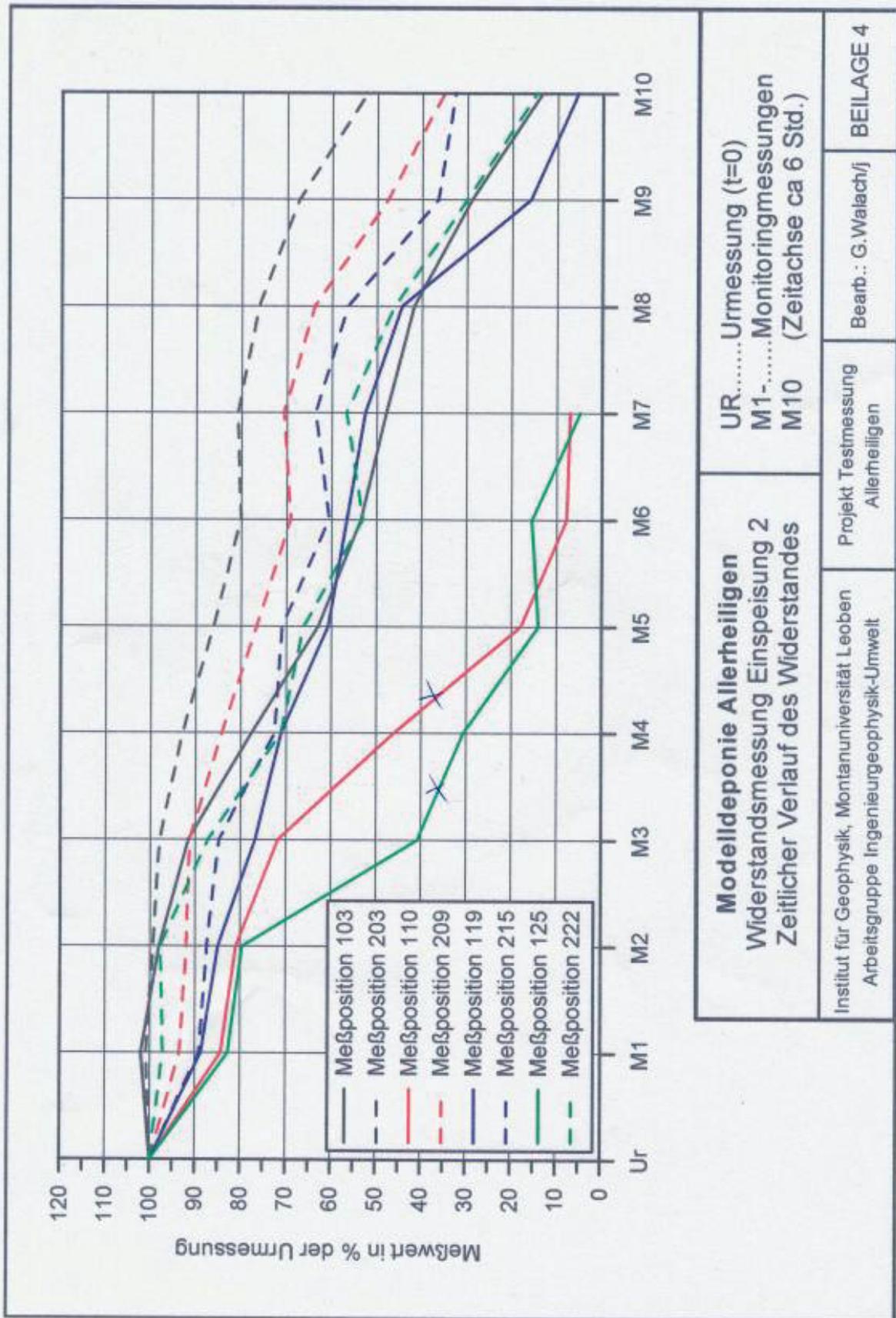
BEILAGE 1



Modelledeponie Allerheiligen Widerstandsmessung Einspeisung 2 Abweichung von der Urmessung in %		Projekt Testmessung Allerheiligen	Bearb.: G. Weidlich	BEILAGE 2
A....gem. Widerstand Pos. 101-128 B....gem. Widerstand Pos. 201-224				
Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben Arbeitsgruppe Ingenieurgeophysik-Umwelt				



Modelleponie Allerheiligen Widerstandsmessung Einspeisung 1 Zeitlicher Verlauf des Widerstandes	UR.....Urmessung (t=0) M1-.....Monitoringmessungen M10 (Zeitachse ca. 6 Std.)
	Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben Arbeitsgruppe Ingenieurgeophysik-Umwelt
Projekt Testmessung Allerheiligen	Bearb.: G.Walach/j
BEILAGE 3	



Modelledeponie Allerheiligen Widerstandsmessung Einspeisung 2 Zeitlicher Verlauf des Widerstandes		UR..... Urmessung (t=0) M1-.....Monitoringmessungen M10 (Zeitachse ca 6 Std.)	
Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben Arbeitsgruppe Ingenieurgeophysik-Umwelt		Projekt Testmessung Allerheiligen	
		Bearb.: G.Walach/j	
		BEILAGE 4	

