

Erstellt im Auftrag für das

Amt der OÖ. Landesregierung
Abteilung Umweltschutz, UA Abfallwirtschaft
Stockhofstraße 40
4020 Linz



Klimarelevanz der Deponien in Oberösterreich

Studie

März 2002

durch das Zivilingenieurbüro für Bauwesen



Dipl.Ing. Dr.techn.
WERNER FLOEGL

Haus der Technik
Stockhofstraße 32
4020 Linz

Tel.: 0732/664832

Fax: 0732/652162

E-Mail: floegl.fhce.linz@aon.at



Dr. Floegl
Hydro Consulting Engineers

Z 5407 01

Beilage: 1
Ausfertigung:

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Allgemeines	1
1.1 Auftraggeber	1
1.2 Ziel der Studie	1
1.3 Klimarelevante Emissionen	1
1.4 Rechtliche Grundlagen	2
1.5 Verwendete Unterlagen	2
1.6 Danksagung.....	4
2 Ablagerungen von Abfällen in Oberösterreich	5
2.1 Derzeit in Betrieb befindliche Deponien in Oberösterreich mit Entgasung	5
2.2 Derzeit in Betrieb befindliche Deponien in Oberösterreich ohne aktive Entgasung	10
2.3 Heute nicht mehr in Betrieb befindliche einzeln betrachtete Deponien	13
2.4 Sonstige Ablagerungen.....	13
2.5 Abgelagerte Abfallmengen	14
3 Methanentstehung auf Deponien.....	20
3.1 Grundsätzlicher Chemismus	20
3.2 Eingangsdaten für die theoretische Berechnung	22
3.3 Gaszusammensetzung	29
3.4 Grundsätzliche Annahmen für die rechnerische Ermittlung der Gasproduktion	32
3.5 Rechnerische Ermittlung der auf den Deponien entstehenden Gasmenge	33
3.6 Energiepotenzial des rechnerisch anfallenden Deponiegases	36
4 Gaserfassung und –verwertung	37
4.1 Deponien mit Gaserfassung	37
4.2 Erfasste Gasmengen	38
4.3 Gasverwertung	39
5 Gasmessungen auf den Deponien	40
5.1 FID-Begehung	40
5.2 Boxenmessungen	42
5.3 Abschätzung der Emissionen aus den FID- und Boxenmessungen	45
5.4 FTIR-Messungen	47
6 Vergleich der rechnerischen Emissionen und der gemessenen Emissionen.....	49
6.1 Gaserfassung	49
6.2 Rechnerische Emissionen.....	49
6.3 Auf Basis der Messungen abgeschätzte, nicht erfasste Emissionen	52
6.4 Mögliche Ursachen für die Differenzen zwischen gemessenen und gerechneten Emissionen	52
6.5 Weitere Schlüsse aus den Messergebnissen.....	56
6.6 Abminderungsfaktoren.....	56

7	Emissionen der Deponien	58
7.1	Auswirkung von Gas erfassung und -verwertung auf die Emissionen.....	58
7.2	Emissionen der Deponien im Jahr 2000.....	62
7.3	Zukünftige Emissionen der Deponien in Oberösterreich	67
8	Vergleich der Gasemissionen der Deponien in OÖ mit Gesamtösterreich	70
8.1	Abfallmengen und Deponien	70
8.2	Emissionen der Deponien	72
9	Vergleich der Emissionen der Deponien mit den Gesamtemissionen klimarelevanter Gase	74
9.1	Globale Emissionen.....	74
9.2	Methanemissionen in Österreich und OÖ	76
9.3	CO ₂ -Emissionen in Österreich und OÖ	78
9.4	Vergleich der Emissionen für Österreich und OÖ	79
10	Reduktionsziel	81
10.1	Vorgaben	81
10.2	Erreichte Reduktionen	81
11	Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen der Deponien	82
11.1	Abgelagertes Material.....	82
11.2	Klimarelevante Emissionen	82
11.3	Emissionsquellen.....	82
11.4	Ansätze zur Emissionsminderung.....	84
11.5	Kosten von Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen der Deponien	90
11.6	Vorschlag für Maßnahmen auf oberösterreichischen Deponien.....	90
12	Zusammenfassung der Studie	91
12.1	Ziel der Studie	91
12.2	Rechtliche Grundlagen	91
12.3	Auftrag	91
12.4	Ausgangssituation.....	91
12.5	Rechnerische Ermittlung der Emissionen	92
12.6	Emissionsmessungen.....	95
12.7	Vergleich der Emissionen der oö. Deponien mit anderen Emissionen in OÖ und Österreich	96
12.8	Reduktionsziele.....	97
12.9	Weitere Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen	98



DIPL.-ING. DR. TECHN. WERNER FLOEGL

Zivilingenieur für Bauwesen
Haus der Technik
Stockhofstraße 32, A-4020 Linz

Telefon 0732/ 66 48 32, 66 48 33, 66 48 34
Bauleitung 66 03 73, 66 90 92
Chefzimmer 66 03 25
Telefax 65 21 62
E-Mail floegl.fhce.linz@aon.at

Linz, März 2002

D.I. Blau/lau

Klimarelevanz der Deponien in Oberösterreich

Studie

1 Allgemeines

1.1 Auftraggeber

Auftraggeber der vorliegenden Studie ist das Amt der OÖ. Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, Unterabteilung Abfallwirtschaft, Stockhofstraße 40, 4020 Linz.

1.2 Ziel der Studie

Ziel der vorliegenden Studie ist die Erfassung der klimarelevanten Emissionen der in OÖ liegenden Deponien. Die Emissionen sind in Relation zu der Situation der Deponien in Österreich und in Relation zu anderen klimarelevanten Emissionen in Österreich und OÖ darzustellen. Ferner sind Möglichkeiten zur Reduktion dieser Emissionen vorzuschlagen und eine Kostenschätzung dazu durchzuführen.

1.3 Klimarelevante Emissionen

Klimarelevant im Sinne der IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change)-Richtlinien sind Emissionen von Kohlendioxid, Methan, Lachgas, Schwefelhexafluorid, teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW) und vollfluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW). Von den Deponien wird vor allem Methan emittiert. Die Emission von Kohlendioxid, die durch den Abbau von organischer Substanz auf den Deponien entsteht, wird als klimaneutral angesehen, da der darin enthaltene Kohlenstoff beim Aufbau der organischen Substanz der Atmosphäre entzogen wurde. Die übrigen klimarelevanten Gase wurden analysiert, spielen aber bei Deponien eine untergeordnete Rolle.

1.4 Rechtliche Grundlagen

Die Studie und die darin enthaltenen Prognosen bauen auf den derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen und dabei speziell auf der Deponieverordnung (164. Verordnung des Bundesministeriums für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen vom 10. April 1996) auf. Entsprechend dieser Verordnung und des § 45 AWG (BGBl. I/Nr. 90/2000) ist ab dem 01.01.2004 die Ablagerung von nicht vorbehandelten, reaktionsfähigen Abfällen untersagt.

1.5 Verwendete Unterlagen

- [1] Amt der OÖ. Landesregierung, Abteilung Umweltschutz
„Abfallbericht 1999“, Eigenverlag, November 2000;
- [2] Amt der OÖ. Landesregierung, Landesbaudirektion
„Oberösterreichischer Abfallkataster 1978“, Eigenverlag;
- [3] F. Fischer und E. Schäfer für
Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz
„Beiträge zur Darstellung der Umweltsituation Österreich, Teil 3 Abfall“, Eigenverlag, Wien 1981;
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
„Bundes-Abfallwirtschaftsplan - Bundesabfallbericht 1“
- [5] Amt der OÖ. Landesregierung, Abteilung Umweltschutz
„Abfallbericht 1996“
- [6] W. Flögl/Quantum im Auftrag des OÖ. Landesabfallverbandes:
„Grundsatzstudie über die Restabfallentsorgung in Oberösterreich ab dem Jahr 2004“;
Unveröffentlicht Linz, Oktober 1998;
- [7] Karl J. Thomě-Kozmiensky:
„Anaerobe Abfallbehandlung“ in „Biogas-Anaerobtechnik in der Abfallwirtschaft“;
EF Verlag für Energie und Umweltschutz, Berlin 1989;
- [8] Amt der OÖ. Landesregierung
„Oberösterreichischer Umweltbericht 2000“, Eigenverlag Linz, August 2000;
- [9] Amt der OÖ. Landesregierung
„1. OÖ. Umweltschutzbericht 1990“, Eigenverlag Linz, Dezember 1990;
- [10] Verband der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. (VKS) in Verbindung mit der Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung (ASA) (Hrsg.)
„Mechanisch-biologische Abfallbehandlung in Europa“, Parey Buchverlag in Blackwell, Wissenschafts-Verlag GmbH., Berlin 2000;
- [11] H. J. Ehrig
„Gasprognose bei Restmülldeponien“, Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 2; 1991

- [12] Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
„Entgasung von Deponiekörpern“ ÖWAV-Regelblatt 502, Wien 1997
- [13] B. Weber:
„Minimierung der Emissionen von Deponien“; Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Heft 74; 1990
- [14] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie – Umweltbundesamt
„R151 Grundlage für eine technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Abfällen“, Wien 1994;
- [15] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
„Leitfaden Deponiegas“, verfasst von J.R. Rettenberger, Metzger, S. Urban-Kiss, Karlsruhe 1992;
- [16] M. Meadows, R. Gregory, C.Fish, J. Gronow
„Characterising Methane Emissions from different types of landfill sites“, Proceedings of the Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 1999;
- [17] B. Galle, J. Samuelsson, G. Börjesson, B.H. Svensson:
„Measurement of Methane Emissions from Landfills Using FTIR-Spectroscopy“, Proceedings of the Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 1999;
- [18] M. Humer, P. Lechner:
„Deponiegasentsorgung von Altlasten mit Hilfe von Mikroorganismen“; Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 7/8 1997;
- [19] R.A. Figueroa:
„Untersuchungen zur mikrobiellen Methanoxidation in Rekultivierungsschichten von Abfalldeponien“; Müll und Abfall, 5/98;
- [20] M. Kussmaul, J. Gebert:
„Ein neues Verfahren zum biologischen Methan- und Geruchsabbau von Gasen aus Abfalldeponien mit passiver Entgasung“; Müll und Abfall 8/98;
- [21] M. Huemer, P. Lechner
„Microorganisms against the greenhouse-effect suitable cover layers for the elimination of methane emissions from landfills“; Proceedings from the Solid Waste Association of North Americas 6th Annual Landfill Symposium 2001;
- [22] K.H. Gertloft:
„Das Setzungsverhalten einer Deponie: Messung, Analyse und Prognose“, Müll-Handbuch, Band 4; 1996
- [23] D.G. Coumoulos, T.P. Koryalos:
„Prediction of long-term settlement behavior of landfill covers after closure“; Proceedings of the seventh International Waste Management and Landfill Symposium; Sardinia 1999
- [24] E. Steyrer, St. Hilingsmann, J.P. Radu, Charlier, J. Destain, R. Drion, P. Thonart:
„A biological pluridisciplinary model to predict municipal landfill life“; Proceedings of the seventh International Waste Management and Landfill Symposium; Sardinia 1999
- [25] A. Hackl, G. Mauschitz
„Klimarelevanz der Abfallwirtschaft“ Studie im Auftrag des BMUJF, Schriftenreihe des BMUJF Band 11/1998;

- [26] A. Hackl, G. Mauschitz
„Beiträge zum Klimaschutz durch nachhaltige Restmüllbehandlung“, Studie im Auftrag des BMJUF, Schriftenreihe des BMUJF, Band 19/1999;
- [27] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
„Bundes-Abfallwirtschaftsplan – Bundesabfallbericht 1998“, Eigenverlag, Wien 1998;
- [28] Umweltbundesamt
„Verdachtsflächen- und Altlastenstatistik“, Homepage ubavie.gv.at Umweltregister;
- [29] Umweltbundesamt
„Austrias Annual National Greenhouse Gas Inventory 1990-1999“, Fax-Mitteilung des UBA (D.I. Ritter); September 2001
- [30] Statistik Österreich
„Allgemeine Viehzählung vom 01.12.1999“, Statistische Nachrichten 4/2000;
- [31] Statistik Österreich
„Energiebilanzen 1992-1999“, Statistische Nachrichten 11/2000;
- [32] John Houghton
„Globale Erwärmung Fakten, Gefahren und Lösungswege“, Springer Verlag Berlin/Heidelberg 1997;
- [33] Telefonische Mitteilung von Frau Dipl.-Ing. Huber-Humer von der Universität für Bodenkultur in Wien; September 2001
- [34] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
„Zweiter nationaler Klimabericht der österreichischen Bundesregierung“, Wien 1997
- [35] OÖ. Umweltakademie beim Amt der OÖ. Landesregierung
„OÖ. Klimabericht 1996“, Linz 1996
- [36] H. Scharff, A. Hensen:
„Methanemission estimates for two landfills in the Netherlands using mobile TDL measurements“; Proceedings of the seventh International Waste Management and Landfill Symposium; Sardinia 1999

1.6 Danksagung

Der Verfasser der Studie möchte sich an dieser Stelle im Namen des Auftraggebers für die Beistellung der Daten bei den Deponiebetreibern bedanken. Der Dank gilt insbesondere den Betreibern der Deponien Asten der Linz Service GmbH. und Redlham der AVE, die die Durchführung der Messungen ermöglicht haben.

2 Ablagerungen von Abfällen in Oberösterreich

Im folgenden Kapitel werden nur Deponien betrachtet, die für die Gasbildung von Bedeutung sind.

2.1 Derzeit in Betrieb befindliche Deponien in Oberösterreich mit Entgasung

2.1.1 Deponie Asten

Die Deponie Asten (im Folgenden „Asten kommunal“ bezeichnet) liegt nahe dem Nordrand der Gemeindegrenze von Asten. Sie wurde seit Beginn der 60er Jahre vom Magistrat der Stadt Linz und nun von der Linz Service GmbH. betrieben. Ende der 80er Jahre wurde das Deponieareal mit einer doppelten, vertikalen Dichtwand nach dem Kammersystem umschlossen. Seither wird das Sickerwasser-Qualmwassergemisch vollständig erfasst und der Kläranlage Asten der Linz Service GmbH. zugeleitet.

1995 wurde ein Gaserfassungssystem installiert, das seither betrieben wird. Das anfallende Deponiegas wird auf der Kläranlage Asten verstromt. Die Deponie verfügt über alle Betriebseinrichtungen nach der Deponieverordnung. Auf der Deponie Asten wird der Hausabfall aus der Stadt Linz, dem Bezirk Freistadt, aus einigen Gemeinden des Bezirkes Linz-Land und aus einer Gemeinde des Bezirkes Urfahr-Umgebung abgelagert. Ferner gelangen die Sortierreste der A.S.A.-Sortieranlage, die sich auf dem Gelände der Deponie befindet, auf die Deponie.

Die Deponie verfügt über ein Gesamtvolumen von ca. 5,4 Mio.m³, von dem derzeit ca. 3,1 Mio.m³ verfüllt sind.

Die beschüttete Fläche der Deponie Asten beträgt derzeit ca. 175.000 m².

2.1.2 Deponie Braunau

Die Deponie Braunau (im Folgenden „Braunau kommunal“ bezeichnet) liegt an der südwestlichen Gemeindegrenze von Braunau am Inn und wird seit ca. 1970 von der Stadt Braunau betrieben. Sie wurde 1997 durch eine vertikale Umschließung gesichert. Das Sickerwasser-Qualmwassergemisch wird zur Kläranlage Braunau abgeleitet. Bei der Sanierung wurde auch eine Deponiegaserfassung installiert. Das anfallende Deponiegas wird abgefackelt. Im Zuge der Sanierung wurden alle Einrichtungen entsprechend der Deponieverordnung errichtet.

Auf der Deponie werden Hausabfall, Sperrabfall, betriebliche Abfälle, Bauabfälle und abgepresster Klärschlamm aus der Gemeinde Braunau abgelagert.

Die Deponie verfügt über ein Gesamtvolumen von ca. 300.000 m³, das derzeit zu ca. 85-90 % verfüllt ist. Eine Erweiterung um 400.000 m³ ist wasserrechtlich bewilligt. Derzeit ist vorgesehen, die Deponie mit dem Inkrafttreten des Verbotes der Deponierung von Abfällen mit mehr als 5 % TOC zu schließen.

2.1.3 Deponie Laakirchen

Die Deponie Laakirchen liegt ca. 600 m nordwestlich des Gemeindezentrums in der Gemeinde Laakirchen. Es handelt sich um eine ehemalige Schottergrube, die seit 1964 für die Ablagerung von Abfällen der Papierfabriken Laakirchen und Steyrermühl und kommunalen Abfällen der Gemeinde Laakirchen genutzt wird. Sie wurde in den Jahren 1992-1994 mit einer Schlitzwandumschließung und einem Gaserfassungssystem saniert. Die Altlast wurde teilweise auf die nach dem Stand der Technik ausgestattete, heute betriebene Deponie umgelagert sowie teilweise durch eine Umschließung und Oberflächenabdichtung eingekapselt. Das Sickerwasser und das Deponiegas sowohl der Altlast als auch der heute betriebenen Deponie werden erfasst und der Kläranlage zugeleitet bzw. abgefackelt.

Nach einer Aufstellung aus dem Jahr 1980 wurden zu dieser Zeit ca. 8.000 t/a Abfälle aus Haushalten und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, ca. 10.000 t Rindenabfälle und ca. 75.000 t/a Schlamm aus der Papierfabrik und der Abwasserreinigung abgelagert. Seit Mitte 1994 werden die Rinden und die Schlämme verbrannt und es wurden seither nur Reste aus der thermischen Behandlung deponiert. Seit 1997 werden die früher abgelagerten Schlämme wieder ausgebaut und verbrannt. Die dabei entstehende Asche des Kessels kann größtenteils stofflich verwertet werden, sodass heute nur mehr geringe Mengen abgelagert werden.

2.1.4 Deponie St. Martin im Mühlkreis

Die Deponie St. Martin im Mühlkreis (im Folgenden mit „St. Martin“ bezeichnet) liegt an der südlichen Gemeindegrenze von St. Martin an den Abhängen zur Donau. Sie wird seit ca. 1991 von der Deponiebetriebs GesmbH. Walding, Raiffeisenplatz 10, 4111 Walding, betrieben. Es erfolgt eine Grabenauffüllung mit freier Sickerwasservorflut. Die Deponie verfügt über eine vollständige Basisabdichtung und Sickerwassererfassung. Das Sickerwasser wird in einer eigenen Sickerwasserreinigungsanlage gereinigt und anschließend in die Donau eingeleitet. Auf der Deponie ist weiters ein Gaserfassungssystem installiert, das entsprechend dem Schüttfortschritt erweitert wird. Das erfasste Gas wird abgefackelt. Die Deponieeinrichtungen nach Deponieverordnung sind vorhanden.

Auf der Deponie wird Hausabfall, sperrige Abfälle, Gewerbeabfall und Bauschutt in geringem Ausmaß gelagert. Die oben angeführten Abfälle kommen aus den Bezirken Eferding, Rohrbach und Urfahr-Umgebung. Ferner werden geringfügige Mengen der oben angeführten Abfälle aus anderen Bezirken deponiert.

Die Deponie verfügt über ein bewilligtes Gesamtvolumen von ca. 800.000 m³, von dem derzeit ca. 260.000 m³ verfüllt sind.

2.1.5 Deponie Ort

Die Deponie Ort liegt in der Gemeinde Ort im Innkreis. Sie wird seit ca. 1975 von der Müllverwertungs- und Mülldeponiebetriebs GesmbH., Aichberg 4, 4975 Ort im Innkreis, betrieben. Es handelt sich um eine Hangdeponie mit freiem Auslauf des Sickerwassers. Das Sickerwasser wird erfasst und der Kläranlage des RHV „Mittlere Antiesen“ zugeleitet. Eine Gaserfassungsanlage und eine Fackel für den bestehenden Teil ist eingerichtet. Das Gas wird im Wesentlichen in der Anlage „Nahwärme Antiesenhofen“ thermisch verwertet. Die wesentlichen Betriebseinrichtungen gemäß Deponieverordnung sind vorhanden. Auf dem Areal der Deponie sind weiters eine Rotteanlage und Sperrabfallsortierung untergebracht.

Auf der Deponie werden Hausabfall, Sperrabfall und gemischte betriebliche Abfälle aus den Bezirken Ried, Schärding, Braunau und Vöcklabruck sowie geringfügige Mengen der oben angeführten Abfälle aus anderen Bezirken abgelagert.

Das bewilligte Gesamtvolumen der Deponie beträgt ca. 950.000 m³. Derzeit sind ca. 700.000 m³ verfüllt.

2.1.6 Deponie Redlham

Die Deponie liegt in der Gemeinde Redlham, unmittelbar neben der Ager. Sie besteht seit ca. 1973 und wird heute von der „Die Entsorger AVE“, Flughafenstraße 8, 4063 Hörsching, einer Tochter der AVE Unternehmensgruppe, betrieben. Die Deponie besitzt eine Basisabdichtung und eine Dichtwandumschließung. Das Sickerwasser wird in einer zur Deponie gehörigen Reinigungsanlage vorgereinigt und anschließend zur Kläranlage Ager-West abgeleitet. Das Deponiegas wird seit 1992 erfasst und auf der benachbarten Kläranlage zum Betrieb der Gasmotoren genutzt. Die Deponie verfügt über alle wesentlichen Einrichtungen gemäß Deponieverordnung.

Auf der Deponie werden Hausabfälle und Sperrabfall aus den Bezirken Vöcklabruck und in geringen Mengen aus den Bezirken Grieskirchen, Braunau, Schärding und Wels-Land abgelagert. Gewerbeabfall wird aus nahezu allen oberösterreichischen Bezirken und von anderen Bundesländern angeliefert, wofür eine Ausnahmegewilligung nach OÖ. AWG besteht. Die größeren Mengen des Gewerbeabfalls aus OÖ kommen aus den Bezirken Vöcklabruck, Linz-Land und Gmunden.

Die Deponie verfügt über ein Gesamtvolumen von ca. 1,6 Mio.m³. Derzeit ist ein Volumen von ca. 1,500.000 m³ verfüllt.

Die beschüttete Fläche der Deponie Redlham beträgt ca. 105.000 m².

2.1.7 Deponie Steyr

Die Deponie Steyr liegt am nördlichen Rand des Gemeindegebietes von Steyr. Sie gehört dem Magistrat Steyr und wird vom RHV Steyr und Umgebung betrieben. Das Deponieareal ist seit Mitte der 80er Jahre von einer einfachen Schmalwand umschlossen. Das erfasste Sickerwasser-Qualmwassergemisch wird zur Kläranlage des RHV Steyr und Umgebung abgeleitet. Seit 1993 erfolgt auch eine Deponiegaserfassung, wobei das Deponiegas auf der Kläranlage des RHV energetisch genutzt wird. Die Deponie verfügt über alle Einrichtungen gemäß Deponieverordnung. Auf dem Gelände der Deponie steht weiters das Schlammpressengebäude des RHV Steyr und Umgebung.

Die abgelagerten Abfälle stammen aus den Bezirken Steyr-Stadt und Steyr-Land. Hausabfall wird ohne Vorbehandlung abgelagert. Sperrabfall und Gewerbeabfall wird größtenteils in der Anlage der Fa. Waizinger sortiert und gesichtet, nur die Sortierreste werden abgelagert.

Die Deponie verfügt über ein Gesamtvolumen von ca. 1,0 Mio.m³, von dem Ende 1999 ca. 620.000 m³ verfüllt waren.

Eine Deponieerweiterung mit einem Ablagerungsvolumen von 1,2 Mio.m³ wurde 1998 grundsätzlich bewilligt.

2.1.8 Deponie Traun

Die Deponie der Stadt Traun liegt am Südrand des Gemeindegebietes von Ansfelden. Sie wird seit ca. 1963 betrieben. Es handelt sich um eine Grabenverfüllung mit vollständiger Basisabdichtung und Erfassung des Sickerwassers. Das Sickerwasser wird zur Kläranlage der SBL in Asten abgeleitet. 1999 wurde eine Entgasung installiert. Die Deponie verfügt über die wesentlichen Betriebseinrichtungen nach der Deponieverordnung.

Auf der Deponie wird Hausabfall und Sperrabfall aus den Gemeinden Traun und Ansfelden abgelagert.

Das Gesamtvolumen beträgt ca. 290.000 m³. Derzeit sind ca. 200.000 m³ Abfälle abgelagert.

2.1.9 Übersicht

Derzeit befinden sich in OÖ acht Deponien für unbehandelte Abfälle in Betrieb, die über ein Entgasungssystem verfügen.

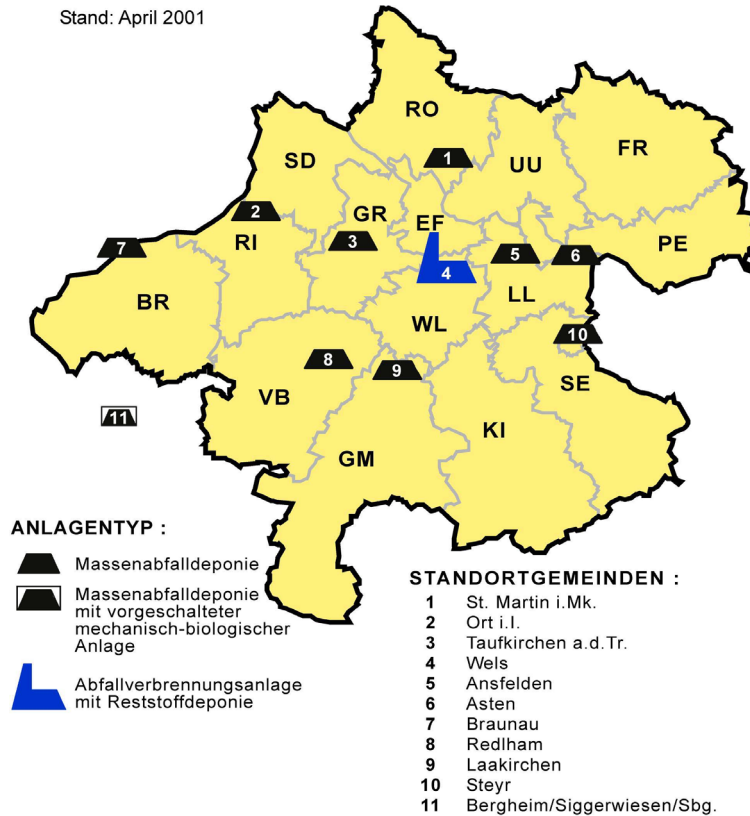
In der folgenden **Tabelle 1** sind diese Deponien mit ihrem Gesamtvolumen und dem derzeit verfüllten Volumen wiedergegeben.

Tabelle 1 – Derzeit in Betrieb befindliche Deponien mit Entgasung

Deponie-bezeichnung	Gesamtvolumen [m ³]	verfülltes Volumen [m ³]
Asten kommunal	5.400.000	3.100.000
Braunau	300.000	260.000
Laakirchen	ca. 900.000	ca. 500.000
St. Martin	800.000	260.000
Ort	950.000	700.000
Redlham	1.600.000	1.500.000
Steyr	1.000.000	620.000
Traun	290.000	200.000
	11.240.000	7.140.000

Die Lage der Deponien ist in der folgenden Übersichtskarte von Oberösterreich wiedergegeben (siehe **Abbildung 1**).

Abbildung 1 – Lage der Deponien in Oberösterreich



2.2 Derzeit in Betrieb befindliche Deponien in Oberösterreich ohne aktive Entgasung

2.2.1 Asten Klärschlammdeponie

Die Klärschlammdeponie der Regionalkläranlage Asten der Linz Service GmbH. liegt ca. 2 km nördlich des Ortszentrums der Gemeinde Asten auf dem Gelände der Kläranlage. Die Deponie besitzt eine Basisabdichtung und eine Schlitzwandumschließung. Die anfallenden Sickerwässer werden zur Kläranlage Asten abgeleitet.

Hier wird seit 1999 der auf der Kläranlage Asten anfallende ausgefaulte und entwässerte Klärschlamm (Konditionierung mit Kalk und Eisendreichlorid) abgelagert. Die Deponie verfügt über ein Gesamtvolumen von ca. 700.000 m³ bis zur Geländeoberkante. Ende des Jahres 2000 waren ca. 60.000 t, dies entspricht ca. 55.000-60.000 m³, abgepresster Klärschlamm abgelagert.

2.2.2 Deponie Hehenberg

Die Deponie Hehenberg des Bezirksabfallverbandes Grieskirchen liegt in der Gemeinde Taufkirchen an der Trattnach. Sie wurde seit ca. 1976 betrieben und wird im Juli 2001 geschlossen. Die Deponie wurde 1996 saniert und mit einer Sohlabdichtung und einer Sickerwassererfassung versehen. Das auf der Deponie abgelagerte Material wird durch eine „diagenetische Inertisierung“ vorbehandelt. Bei diesem Verfahren wird der Abfall vorsortiert und anschließend mit Schluff und Tonmineralien vermischt. Dadurch reagiert der Abfall äußerst langsam und es entsteht kaum Sickerwasser und die Deponiegasbildung wird daher wesentlich verlangsamt.

Auf der Deponie wird der Großteil des Restabfalles der Haushalte des Bezirkes Grieskirchen abgelagert. Das Gesamtvolumen der Deponie beträgt ca. 190.000 m³.

2.2.3 Deponie Wels Schießstätte

Die Deponie Wels liegt am östlichen Rand des Gemeindegebietes von Wels, direkt neben den Anlagen der WAV. Sie besteht seit ca. 1983 und gehört dem Magistrat der Stadt Wels. Sie wird heute von der WAV betrieben. Das Deponieareal verfügt über eine Schmalwandumschließung. Das Qualm-Sickerwassergemisch wird zu den Anlagen des Abwasserverbandes Welser-Heide abgeleitet. Eine aktive Entgasungseinrichtung ist in Anbetracht des geringfügigen Gasanfalles, bedingt durch die abgelagerten Abfallqualitäten (überwiegend Schlacke und Asche aus der WAV), nicht vorhanden, es findet teilweise eine flächenhafte passive Entgasung über eine Biofilter-Abdeckung statt. Durch eine Mitbenutzungsmöglichkeit der übrigen Anlagen des WAV verfügt die Deponie Wels über alle wesentlichen Betriebseinrichtungen entsprechend Deponieverordnung. Auf der Deponie dürfen heute nur Reststoffe abgelagert werden.

Die Deponie verfügt über ein Gesamtvolumen von ca. 2,7 Mio.m³, von dem Ende 1999 ca. 1,950.000 m³ verfüllt waren.

Auf der Deponie in Wels wurde im Zeitraum September 1990 bis Oktober 1995 unbehalteter reaktionsfähiger Abfall abgelagert (Neubau der Verbrennungsanlage).

2.2.4 Übersicht

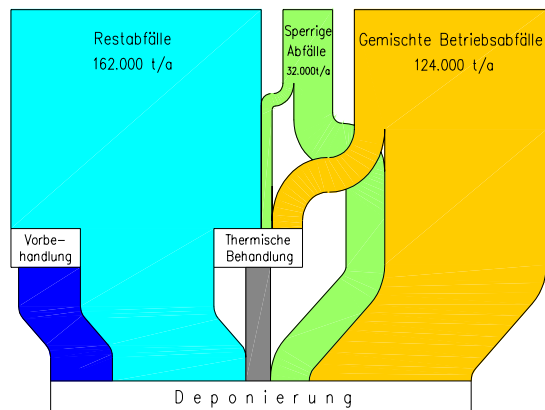
Tabelle 2 – Derzeit in Betrieb befindliche Deponien ohne aktive Entgasung

Deponie- bezeichnung	Gesamtvolumen [m ³]	verfülltes Volumen [m ³]
Asten Klärschlamm	700.000 (bis GOK)	60.000
Hehenberg	190.000	190.000
Wels Schießstätte	2.700.000	1.950.000
	ca. 3.590.000	ca. 2.200.000

2.2.5 Abfallströme in OÖ

Die in OÖ derzeit anfallenden für die betrachteten Deponien maßgeblichen Abfallströme sind in der folgenden Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2 – Abfallströme in Oberösterreich



2.3 Heute nicht mehr in Betrieb befindliche einzeln betrachtete Deponien

2.3.1 Betriebsdeponie der AMAG in Braunau

Die betriebseigene Deponie der AMAG (im Folgenden als „Braunau AMAG“ bezeichnet) liegt in unmittelbarer Nähe der städtischen Deponie in Braunau (siehe Pkt.2.1.2). Sie wurde in den Jahren 1960-1991 betrieben und 1992 durch eine Umschließung zur Qualm-Sickerwassererfassung saniert. Insgesamt sind hier ca. 370.000 m³ Abfälle abgelagert. Es handelt es sich dabei zum überwiegenden Teil um betriebliche mineralische Abfälle, die teilweise vorkonditioniert wurden (Salze, Schlacke, Ofenausbruch etc.). Hausmüll, Restabfälle aus Haushalten und ähnliche Betriebsabfälle dürften nur in einer Größenordnung von ca. 10 % auf dieser Deponie abgelagert worden sein. Heute ist die Deponie abgedeckt und das anfallende Sickerwasser wird über eine Sickerwasserbehandlung entsorgt. Eine aktive Entgasung besteht nicht.

2.3.2 Geschwemmseldeponie der ÖBK

Auch diese Deponie (im Folgenden als „Braunau ÖBK“ bezeichnet) liegt in der Nähe der Stadt Braunau und der Deponie der AMAG. In den Jahren 1987 bis 1998 wurden hier insgesamt 150.000 m³ Geschwemmselholz abgelagert. Die Deponie ist heute abgedeckt, das Sickerwasser wird erfasst und zu der kommunalen Kläranlage abgeleitet.

2.4 Sonstige Ablagerungen

Seit ca. 1995 erfolgt die Ablagerung der reaktiven Abfälle in Oberösterreich auf den in Pkt. 2.1 bis 2.3 beschriebenen Deponien. Vorher waren noch andere, heute geschlossene Deponien ohne Gaserfassung in Betrieb. Die Anzahl dieser Deponien erhöht sich stark, je weiter man in die Vergangenheit zurück geht. 1977 waren es noch ca. [2] 80-90 kleinere Deponien. Aufgrund der Einwohnerzahlen muss geschätzt werden, dass damals ca. 35-40 % des gesamten in Oberösterreich anfallenden Haushaltsabfalles auf diesen Deponien abgelagert wurde [3]. Im Jahr 1991 wurden noch ca. 25 % der Haushaltsabfälle aus Oberösterreich auf heute nicht mehr in Betrieb befindliche Deponien, die nicht einzeln angeführt werden, abgelagert.

Diese Deponien sind als Altablagerungen registriert bzw. im Verdachtsflächenkataster erfasst. Vom Umweltbundesamt wurden die Daten des Verdachtsflächenkatasters übergeben. Hier sind auch Schätzungen der abgelagerten Mengen enthalten. Addiert man die angegebenen Volumina auf, so ergibt sich ein Gesamtvolumen von ca. 18 Mio.m³. Bei einer Schüttdichte des Hausabfalles von ca. 1 t/m³ im eingebauten Zustand sind dies ca. 18 Mio.t.

Nachdem nach einer überschlägigen Schätzung diese Menge an Hausabfällen, sperrigen Abfällen und Gewerbeabfällen im Betrachtungszeitraum nicht auf diesen Deponien abgelagert wurde, musste die Fehlmenge auf die in Pkt. 2.5 beschriebenen Weise abgeschätzt werden.

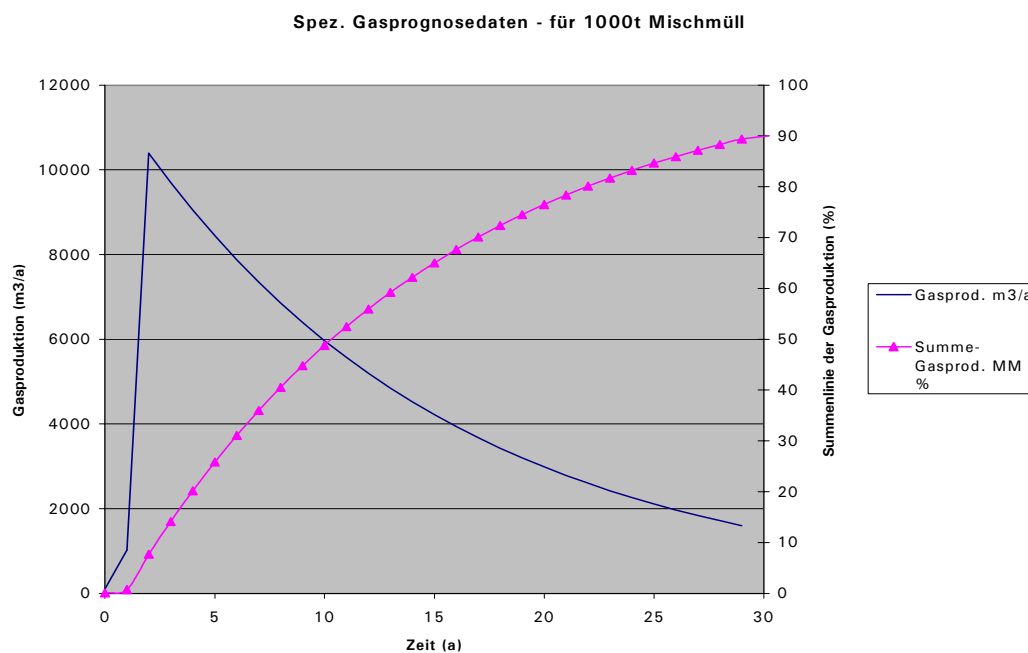
Insgesamt sind auf den abgeschlossenen, nicht einzeln betrachteten Deponien in den Jahren 1970-2000 ca. 2,1 Mio.t Hausabfälle, sperrige Abfälle und Gewerbeabfälle abgelagert worden, die heute noch für Emissionen Bedeutung haben. Die übrigen auf diesen Deponien lagernden Mengen sind entweder mehr als 30 Jahre alt und daher für die Gasentwicklung nicht mehr wesentlich, oder es handelt sich um Bauschutt, Aushub oder sonstiges für die Gasentwicklung unbedeutendes Material. Ferner kann nicht ausgeschlossen werden, dass die abgelagerten Mengen überschätzt wurden.

2.5 Abgelagerte Abfallmengen

2.5.1 Haushaltsabfälle und Restabfälle aus Haushalten

Wesentlichste Grundlage für eine theoretische Ermittlung der Deponiegasmenge ist die abgelagerte Abfallmenge. Tatsächliche Aufzeichnungen über die abgelagerten Abfallmengen bestehen etwa seit Mitte bis Ende der 80er Jahre. In den früheren Jahren wurden nur selten Aufzeichnungen über abgelagerte Abfallmengen geführt.

Entsprechend dem zeitlichen Verlauf der Gasproduktion ist erst nach einem Zeitraum von rund 30 Jahren mit einem weitgehenden Abklingen zu rechnen, d. h. dass auch jener Abfall erfasst werden muss, der vor 30 Jahren und weniger abgelagert wurde [7]. Nach 30 Jahren ist die Gasproduktion zu ca. 95 % abgeschlossen wie in der Summenlinie der Gasproduktion in der folgenden **Abbildung 3** zu ersehen ist. Es ist daher erforderlich, auch die früher abgelagerten Abfallmengen quantitativ zu erfassen oder abzuschätzen. Ein Zeitraum von rund 30 Jahren wurde auch bei der Veröffentlichung des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie „Beiträge zum Klimaschutz durch nachhaltige Restmüllbehandlung“, Band 19, 1999 [27], den Betrachtungen zugrunde gelegt.

Abbildung 3 – Zeitlicher Verlauf der Gasproduktion mit Summenlinie

Bei den auf den Deponien abgelagerten Abfällen wurde im Wesentlichen unterschieden zwischen

- Hausmüll bzw. Restabfall aus Haushalten
- Sperrige Abfälle
- Gewerbeabfall
- Klärschlamm

Bei den übrigen auf Deponien abgelagerten Stoffen dürfte es sich im Wesentlichen um Inertstoffe in Bezug auf die Gasproduktion handeln. So werden auf Deponien laufend kleinere Mengen von Bauschutt, z. B. für Straßenbau oder Erdmaterial als Zwischenabdeckung abgelagert, die aber für die Gasproduktion nicht wesentlich sind. Bei der Bilanzierung der Deponien über die abgelagerten Mengen und Gesamtvolumina müssen diese Ablagerungen aber durch einen Zuschlag berücksichtigt werden.

Für die Ermittlung der abgelagerten Mengen wurde nun einerseits der Gesamtanfall für Oberösterreich für die jeweilige Abfallsorte, sofern er bekannt war, erhoben und andererseits wurden die auf den einzelnen Deponien abgelagerten Mengen, die entweder von den Deponiebetreibern oder von der Unterabteilung Abfallwirtschaft des Amtes der OÖ. Landesregierung bekannt gegeben wurden, gegenübergestellt. In den letzten Jahren decken sich die Angaben im Wesentlichen und bestehen keine wesentlichen rechnerischen Differenzen.

Seit 1993 erfolgen Ablagerungen im Wesentlichen auf folgenden Deponien:

- Asten – Hausmüll
- Asten – Klärschlamm
- Braunau
- Hehenberg
- Laakirchen
- St. Martin
- Ort
- Redlham
- Steyr
- Traun-Ansfelden
- Wels

Für die Ermittlung der Gasproduktion wurden weiters die auf den Deponien der AMAG (betriebliche Abfälle) und der ÖBK (Rechengut) in Braunau abgelagerten Abfälle erhoben.

Die Ablagerungen auf sonstigen Deponien sind ab diesem Zeitpunkt gering. Ferner werden ca. 3-5 % der in Oberösterreich anfallenden Abfälle (vor allem Restabfälle aus Haushalten aus dem Bezirk Braunau) zur Deponie Salzburg-Siggerwiesen verbracht. Die dorthin verbrachte Menge ist im Wesentlichen bekannt. Für diese Jahre konnte daher eine geschlossene Bilanz über die Deponierung bzw. Beseitigung der Abfälle erstellt werden. Vor 1992 waren noch andere Deponien, wie z. B. Feldkirchen oder Katsdorf, in Betrieb, d. h. für den Zeitraum vor 1992 sind die Abfallmengen auf sonstigen Deponien, die sich heute nicht mehr in Betrieb befinden, erwähnenswert. Je weiter man zurückgeht, desto größer wird die auf sonstigen, stillgelegten Deponien abgelagerte Abfallmenge.

Bei der Erhebung des Gesamtanfalles in Oberösterreich konnte auf folgende Unterlagen zurückgegriffen werden:

- [3] Abfallerhebung 1981 des Österreichischen Bundesinstitutes für Gesundheitswesen in den Gemeinden (Zahlen Gesamtösterreich für die Jahre 1972 und 1979 und für OÖ von 1983)
- [4] Bundesabfallwirtschaftsplan 1998 (Zahlen für Gesamtösterreich für 1993 und 1997)
- [8] 1.OÖ. Umweltschutzbericht 1990 (Zahlen für Oberösterreich für 1988 und 1989)
- [5] Abfallbericht 1996 des Amtes der OÖ. Landesregierung (Zahlen für OÖ für die Jahre 1985 und 1990-1996).
- [6] Eigene Erhebungen für die „Grundsatzstudie über die Restabfallentsorgung in OÖ ab dem Jahr 2004“ im Auftrag des LAV.

1977-1978 wurde ferner der OÖ. Abfallkataster 1978 [2] erstellt. Im Zuge der Erstellung dieses Abfallkatasters wurden sämtliche oberösterreichische Gemeinden bezüglich ihrer Abfallentsorgung befragt. Außer den heute noch in Betrieb befindlichen Deponien waren damals in OÖ insgesamt 86 weitere Deponien, die von einer oder mehreren Gemeinden benutzt wurden, in Betrieb. Aufgrund der Einwohnerzahl jener Gemeinden, die zu diesen 86 Deponien entsorgt haben, konnte ermittelt werden, dass 1977 ca. 38 % des in OÖ

angefallenen Abfalls auf diese Deponien gelangt sind. Bei der Abschätzung wurde der unterschiedliche spezifische Abfallanfall in den Statutarstädten Linz, Wels und Steyr berücksichtigt.

Aufgrund der oben angeführten Eckdaten der meist bekannten Einzugsgebiete der Deponien und der Annahme, dass die grundsätzliche Aufteilung der Gesamtabfallmengen auf die einzelnen Einzugsgebiete sich im Laufe der Jahre nicht wesentlich ändert, wurden die auf die einzelnen Deponien verbrachten Abfallmengen abgeschätzt. Für den Hausabfall bzw. den Restabfall aus Haushalten wurde so der Anhang 1.1 erstellt.

Zur Abschätzung der früher abgelagerten Mengen ist noch zu bemerken, dass Ungenauigkeiten bei der Abschätzung der Mengen, die sich aufgrund der spärlichen Datenmengen kaum vermeiden lassen, für die Ermittlung der Gasproduktion um so unwesentlicher sind, je weiter die Ablagerung zurückliegt. Die Gasmenge von Müll, der vor 25 oder 30 Jahren abgelagert wurde, ist im Verhältnis zur Gasmenge von Müll, der z. B. Anfang der 90er Jahre abgelagert wurde, wesentlich geringer, sodass ein allfälliger Fehler hier für die Abschätzung der Gesamtmenge nur geringe Auswirkungen hat. Trotz allem ist es unerlässlich, die abgelagerten Abfallmengen zumindest größenordnungsmäßig zu erfassen.

2.5.2 Sperrabfall

Über den Anfall an sperrigen Abfällen liegen die ersten Daten erst für das Jahr 1979 vor. Detaillierte Aufzeichnungen bei Deponien gibt es seit den 80er Jahren. Der Anfall an sperrigen Abfällen in OÖ kann daher für weiter zurückliegende Zeiträume nur geschätzt werden. Bekannt ist, dass der Anteil von sperrigen Abfällen am Gesamtabfallaufkommen aus Haushalten laufend zunimmt. So wurde auch in der Veröffentlichung „Beiträge zum Klimaschutz durch nachhaltige Restmüllbehandlung“ [26], der Anteil der sperrigen Abfälle von 6 % im Jahr 1970 auf 7 % im Jahr 1980 und auf 9 % im Jahr 1990 angesetzt. In OÖ beträgt der Anteil 1990 ca. 12 %. Aufgrund dieser Zahl mussten die übrigen Zahlen für die Jahre 1980-1990 etwas angepasst werden. Für 1970 wurde mit 6 % gerechnet. Die abgeschätzten Mengen, die der Gasprognose zugrunde gelegt wurden, sind im Anhang 1.2 wiedergegeben.

2.5.3 Gewerbeabfall

Die Daten über die Abfälle aus Industrie und Gewerbe, die auf den in Betrieb befindlichen Deponien und auf den abgeschlossenen Deponien abgelagert sind, sind noch schwieriger nachvollziehbar als für Abfälle aus Haushalten und für sperrige Abfälle. Auch über die abgelagerten Abfallqualitäten gibt es nur wenige Angaben. Auf Basis dieser Angaben und spezifischer Werte wurden wiederum die Werte für Gesamt-OÖ abgeschätzt und auf die einzelnen Deponien aufgeteilt. Die geschätzten Mengen für die einzelnen Deponien sind im Anhang 1.3 wiedergegeben.

2.5.4 Klärschlamm

Die Klärschlammablagerung konnte im Wesentlichen aus den Berichtes des Amtes der OÖ. Landesregierung „Klärschlammanfall und –verwertung“, die seit 1983 vorliegen, gut rekonstruiert werden. In den Jahren davor dürfte durch die geringe Anzahl von Kläranlagen einerseits und die damals weit verbreitete Ausbringung von Nassschlamm in die Landwirtschaft andererseits nur sehr geringe Klärschlammengen deponiert worden sein. Bis einschließlich 1992 wurden große Mengen Faulschlamm von der Kläranlage Asten (Großraum Linz) als Nassschlamm auf Schlammteiche, die teilweise ab 1993 wieder entleert wurden, abgelagert.

Der bei den großen industriellen Kläranlagen der Papier- und Zellstoffindustrie in OÖ anfallende Klärschlamm wird heute großteils in Wirbelschichtkesseln verbrannt. In den Jahren 1990 bis 1994 wurden große Mengen von Klärschlamm (ca. 70.000-75.000 t/a) der Papierfabrik Laakirchen und Steyrmühl auf der Deponie Laakirchen abgelagert. Dieser Klärschlamm wird seit 1997 wieder ausgelagert und verbrannt. Dies wurde bei den abgelagerten Mengen, die der Gasprognose zugrunde gelegt wurden, berücksichtigt. Der in Lenzing anfallende Klärschlamm wird seit Beginn des Betriebes der Kläranlage verbrannt.

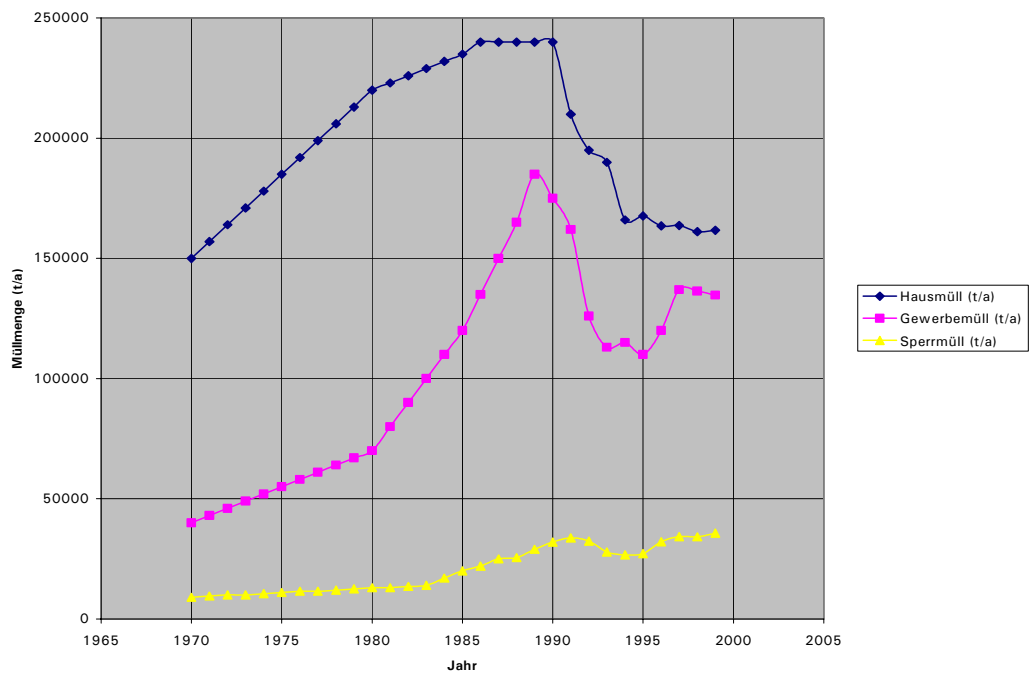
2.5.5 Summenprüfung

Neben den heute vorhandenen vermessenen Deponievolumina bestehen noch Angaben über Deponievolumina zu früheren Zeitpunkten, die teilweise Projekten (z. B. Asten, Steyr) oder älteren Bescheiden (z. B. Laakirchen) entnommen wurden. Mit diesen Daten wurden für den jeweiligen Zeitpunkt Summenprüfungen durchgeführt. Dabei wurden sonstige auf die Deponien verbrachte Materialien, wie z. B. Bauschutt für den Bau von Fahrstraßen und Ähnliches, mit Zuschlägen von 10-15 % berücksichtigt.

Die auf der Deponie bis zum jeweiligen Jahr abgelagerten Mengen wurden aufsummiert, der oben beschriebene Zuschlag dazuaddiert und das so ermittelte Volumen mit den angegebenen Volumina verglichen. Dabei konnte im Allgemeinen eine gute Übereinstimmung erzielt werden. Die Fehler lagen in einer Größenordnung von max. ca. 10 %.

Die seit 1970 in Oberösterreich anfallenden relevanten Abfallmengen sind Fm folgenden Diagramm (**Abbildung 4**) wiedergegeben.

Abbildung 4 – Müllmengenentwicklung in Oberösterreich 1970-2000



3 Methanentstehung auf Deponien

3.1 Grundsätzlicher Chemismus

3.1.1 Allgemeine Grundlagen

Bei feuchter Lagerung von pflanzlichen oder tierischen Reststoffen unter Sauerstoffabschluss entsteht durch bakterielle Aktivitäten Biogas. Im Wesentlichen läuft der Prozess in den folgenden vier Stufen ab [7], [11], [12]:

Hydrolyse

Zerlegung von ungelösten hochmolekularen Stoffen durch Enzyme in lösliche Stoffe.

Säurebildung

Umsetzung gelöster organischer Verbindungen zu organischen Säuren, Aldehyden und CO₂.

Acetatbildung

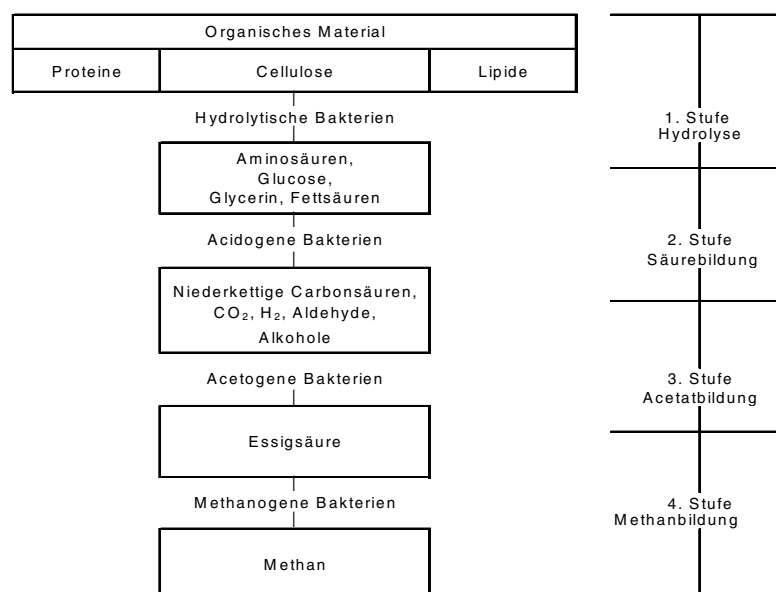
Umwandlung der gebildeten Säure in Essigsäure, Wasserstoff und CO₂.

Methanbildung

Erzeugung von Methan aus Essigsäure, Wasserstoff und CO₂ bei streng anaerobem Milieu und neutralen bis leicht alkalischen Umgebungsbedingungen.

Die Methanbildung kann bei einer Temperatur zwischen 4 °C und 70 °C ablaufen, wobei das Optimum bei 35-37 °C liegt.

Abbildung 5 - Deponiegasentstehung



Die Bakterien, die die Umsetzungsvorgänge bewirken, benötigen weiters die Elemente Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium sowie diverse Spurenelemente. Der Umsetzungsvorgang wird durch einige Substanzen, wie z. B. chlorierte Kohlenwasserstoffe oder Zyanide gehemmt. Beim anaeroben Abbau ist der Energiegewinn der Bakterien gering, da ein Großteil der Energie als Methan ausgeschleust wird. Dadurch sind das Zellwachstum und der Biomassezuwachs äußerst gering.

3.1.2 Beschreibung und Quantifizierung der Methanentstehung

Eine exakte Messung von Deponiegas bzw. der Deponiegasentstehung auf Deponien selbst ist äußerst schwierig. Die Messungen über die Gasbildung der abgelagerten Stoffe wurden daher nahezu ausschließlich im Labor durchgeführt. Dabei können die tatsächlichen Verhältnisse auf der Deponie nur bedingt wiedergegeben werden. Insbesondere beträgt die tatsächliche Zeit der Methanbildung auf den Deponien mehrere Jahrzehnte, während für die Beobachtung im Labor nur wesentlich kürzere Zeiträume zur Verfügung stehen. Bei Laborversuchen muss daher getrachtet werden, die Zeit der Gasbildung durch Intensivierung der Umsetzungsvorgänge (Temperatur, Durchfeuchtung) wesentlich zu verkürzen. Die Laborversuche werden dabei meist so lange betrieben, bis die je Zeiteinheit produzierte und gemessene Methanmenge nahezu auf Null abgesunken war. Durch diese Methode kann die gesamte Gasmenge, die aus einer bestimmten Abfallmenge und -qualität gebildet wird, qualitativ und quantitativ gut bestimmt werden. Für die vorliegende Studie wurden keine Laboruntersuchungen durchgeführt.

Von wesentlichem Einfluss auf das Gasbildungspotenzial ist eine allfällige Vorbehandlung des Abfalles. Nach neueren Versuchen mit Material aus mechanisch-biologischen Anlagen erfolgt auch bei relativ kurzer Rottedauer bereits eine deutliche Verminderung des Gasbildungspotenzials. Bei den im UBA Report R151 [14] genannten Stabilitätskriterien wird von einer 90-%igen Reduktion der Deponiegasemissionen ausgegangen. Zukünftige Vorbehandlungsanlagen werden auf diesen Wert auszulegen sein. Die heute in Oberösterreich vorhandenen Vorbehandlungsanlagen weisen nur eine relativ geringe Rottedauer auf und erreichen dementsprechend nur eine geringe Reduktion des Gasbildungspotenzials.

Bei den theoretischen Ansätzen zur Ermittlung des Gaspotenzials wird im Wesentlichen vom Anteil des biologisch abbaubaren Kohlenstoffes im Abfall und den stöchiometrischen Konstanten ausgegangen. Bei diesem Ansatz ist aber die Definition des umsetzbaren Kohlenstoffes schwierig, da Kohlenstoff z. B. in Kunststoffen oder Lignin nicht oder nur in extrem langen Zeiträumen umsetzbar ist.

Der zeitliche Verlauf der Gasproduktion kann im Labor aber nur qualitativ und nicht quantitativ erfasst werden. Beim zeitlichen Verlauf der Biogasproduktion kann davon ausgegangen werden, dass zunächst die in Punkt 3.1.1 beschriebenen Abbauvorgänge, die der Methanbildung vorgelagert sind, ablaufen müssen, bis es zur eigentlichen Deponiegasbildung kommt, die, wie die nachfolgenden Untersuchungen zeigen, sehr rasch einsetzt. Anschließend erreicht die Methanproduktion ein Maximum und fällt von da an stetig ab. Das Absinken kann, wie häufig Vorgänge in der Biochemie, mit einer Potenzfunktion beschrieben werden. Qualitativ wurde diese Absenkkurve bei den Laborversuchen beobachtet.

Bei Versuchen hat sich gezeigt [11], [12], [13], dass auch bei scheinbar gut abbaubaren Substanzen wie Gras und Lebensmitteln nur ca. 50 % des Kohlenstoffes im Versuchszeitraum biologisch umgesetzt werden. Das deutet darauf hin, dass für die Hauptgasentwicklung im Wesentlichen die als leicht abbaubar bezeichneten Komponenten relevant sind. Bei den Versuchen wurde weiters eine Gasbildung nach dem Abklingen der intensiven anaeroben Prozesse beobachtet, die darauf hindeutet, dass noch sehr langfristig Teile des Kohlenstoffes biologisch umgesetzt werden können.

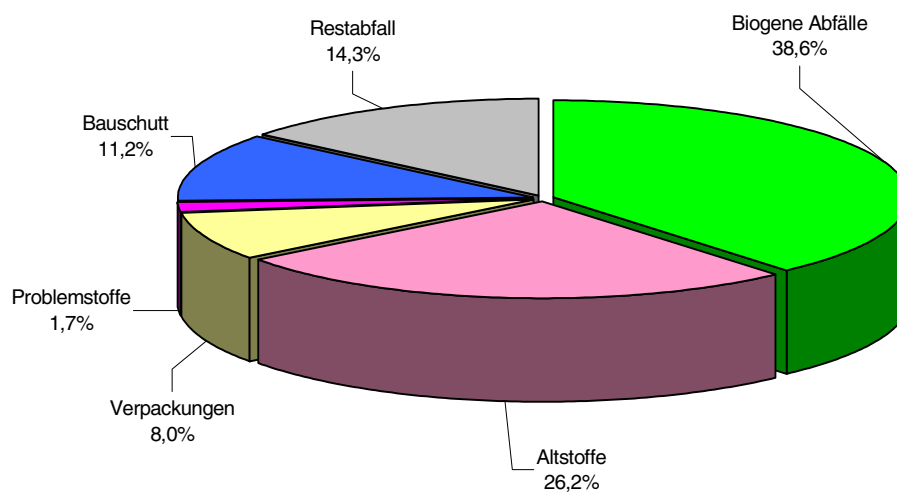
3.2 Eingangdaten für die theoretische Berechnung

3.2.1 Abfallzusammensetzung und –menge

Bedingt durch die Lebensgewohnheiten der Bevölkerung einerseits und die Art der Abfallsammlung andererseits hat sich im Laufe der Zeit nicht nur die Abfallmenge verändert, sondern auch die Abfallzusammensetzung. Als Beispiel für die Änderung der Lebensgewohnheiten sei nur die Umstellung der Heizungen von Einzelöfen mit Koks oder Kohlefeuerung auf Gasfeuerung oder Fernheizung erwähnt, wodurch heute praktisch kaum mehr Asche in den Restabfall aus Haushalten gelangt. Auch die Änderung der Verbrauchsgewohnheiten, wie die vermehrte Verwendung von Wegwerfverpackungen und Wegwerfwindeln hat zu einer Änderung der Abfallmenge und –zusammensetzung geführt.

In der folgenden **Abbildung 6** ist die Zusammensetzung des Hausmülls aus dem Jahr 1990 dargestellt [9].

Für die einzelnen Fraktionen wurden damals andere Begriffe verwendet als bei neueren Sortieranalysen. Um eine gewisse Vergleichbarkeit herstellen zu können, wurde versucht, die damaligen Fraktionen den heute üblichen Fraktionen zuzuordnen.

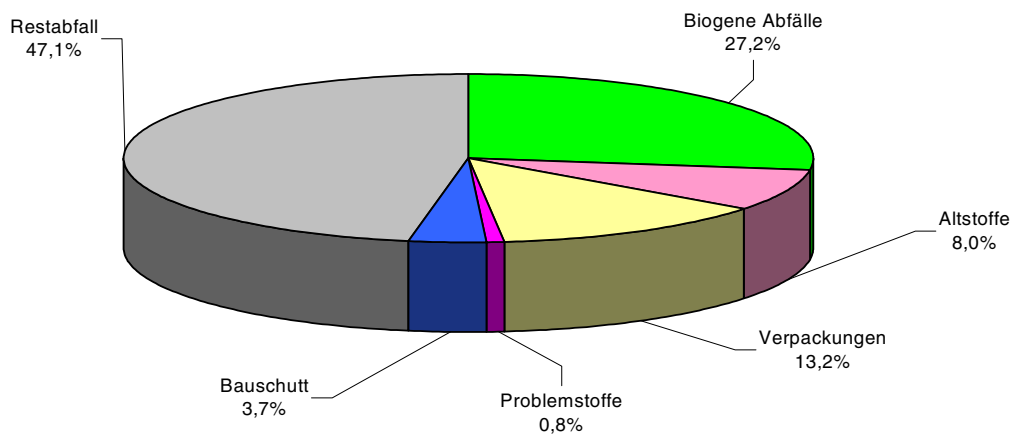
Abbildung 6 – Zusammensetzung des Hausabfalles in Oberösterreich 1990

Bedingt durch die getrennte Erfassung der Altstoffe hat sich die Haushaltsabfallmenge von 1990/1991 bis 1998/1999 von ca. 187 kg/EW.a auf ca. 117 kg/EW.a reduziert (OÖ. Umweltbericht 2000). Die gewichtsmäßig wesentlichste Reduktion war bei den biogenen Abfällen zu verzeichnen. Ein Vergleich der Zusammensetzung wird aber durch die unterschiedliche Bezeichnung und Zuordnung der Abfälle in den einzelnen Erhebungsperioden stark erschwert.

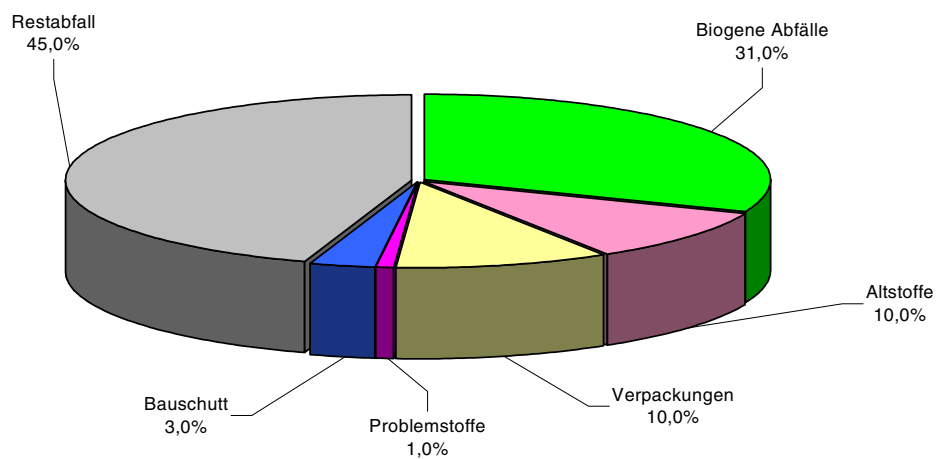
In der folgenden **Abbildung 7** sind zwei Analysen aus den Jahren 1997 und 1998 dargestellt. Es zeigt sich z. B. der Rückgang an biogenen Abfällen durch die getrennte Sammlung.

Abbildung 7
Zusammensetzung des Restabfalles aus Haushalten in Oberösterreich 1997 und 1998

Zusammensetzung des Hausabfalls einzelner Stadtteile von Linz (1997)



Zusammensetzung des Hausabfalls BA-Rohrbach (1998)



Bei einer Einteilung der Abfälle in „biologisch behandelbar“ und „nicht biologisch behandelbar“, die im Wesentlichen der Aussage „Abfälle mit wesentlicher Gasproduktion“ und „Abfälle ohne wesentliche Gasproduktion“ gleicht, erkennt man, dass im Jahr 1990 ca. 60 % als Abfälle mit Gasproduktion zu klassifizieren waren.

Dabei wurden die Fraktionen „biogene Abfälle“ (38,5 %), die auch heute getrennt erfasst werden, sowie „Papier und Pappe“ (15,9 %) und etwa die Hälfte der Fraktion „Verbundstoffe“ (9,7 %), die heute in den Fraktionen „Abfallstoffe“ bzw. „Verpackungen“ enthalten sind, als Abfälle mit Gasproduktion eingestuft.

Nach der im OÖ. Umweltbericht 2000 wiedergegebenen Zusammensetzung der Hausabfälle ist die Einteilung wesentlich schwieriger, da 28 % der Abfälle als „andere Abfälle“ bezeichnet werden. Nimmt man an, dass ca. die Hälfte dieser Fraktion als Abfälle mit Gasbildung anzusehen sind, so ergibt sich eine Gesamtsumme von ca. 50 % der Abfälle mit Gasproduktion. Bei einer Analyse von Material, das auf verschiedene mechanisch-biologische Anlagen in Deutschland geliefert wird, wurde ein „biologisch behandelbarer Anteil“ von ca. 55-65 % ermittelt (mechanisch-biologische Abfallbehandlung in Europa, herausgegeben vom Verband der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e. V., Seite 439) [10]. Diese Werte sind sehr ähnlich den im Jahr 1999 ermittelten Werten in OÖ.

3.2.2 Der Berechnung zugrunde gelegte Gesamtgasmengen

Die theoretische Berechnung der Gasproduktion erfolgt nach dem Modell von Ehrig [11], das wiederum auf früheren Modellen und theoretischen Ansätzen aufbaut. Wie bereits oben erwähnt, wird die gesamte Gasmenge im Laborversuch ermittelt. Zusätzlich ist bei Ehrig ein theoretischer Rechenansatz für die Gesamtgasmenge als Funktion des Protein- und Kohlenhydratgehaltes des Hausmülls wiedergegeben. Ein weiterer Rechenansatz versucht die Gasmenge über den Energieinhalt des Abfalls und den Energieinhalt des Methans zu erfassen. Bei Ehrig sind Methanmengen und Gesamtgasmengen für Hausmüll angegeben. Weiters sind diverse Laborversuche zitiert.

Bei B. Weber [13]: „Minimierung der Emissionen der Deponien“ sind organische Kohlenstoffgehalte von Hausmüll, Sperrabfall, Gewerbeabfall, Klärschlamm etc. angegeben. Ferner sind die Umrechnung von organischem Kohlenstoffanteil auf Deponiegas sowie verschiedene Anpassungsfaktoren für die Reduktion der theoretischen Menge auf die praktisch auf der Deponie anfallende Menge angegeben.

Bezüglich des Gasanfalles von Restabfällen, die nach einer MBA-Behandlung auf eine Deponie verbracht werden, wird auf den UBA-Report R151 „Grundlagen für eine technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Abfällen“ [14] verwiesen. Dort sind Zielvorstellungen über die Gasmenge, die von Abfällen, die in einer MBA behandelt wurden, angegeben.

3.2.3 Zeitlicher Verlauf der Gasproduktion

Der wesentliche Parameter für die Charakterisierung des zeitlichen Verlaufes der exponentiellen Kurve ist die Halbwertszeit. Die Halbwertszeit ist jener Zeitraum, in dem die Gasproduktion um 50 % absinkt. Die Halbwertszeiten der einzelnen deponierten Materialien sind je nach Abbaubarkeit stark unterschiedlich, wobei auch die Literaturangaben für diese Werte stark schwanken. In der Mischung der Abfälle, wie sie im Regelfall auf Deponien stattfindet, kommt es aber zu Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Abfallqualitäten und es gelten annähernd die gleichen Halbwertszeiten für das gesamte abgelagerte Material. Mit diesem Modell kann allerdings nur die Hauptphase der Biogasproduktion zeitlich beschrieben werden.

Beeinflusst wird die Halbwertszeit weiters durch eine allfällige Vorbehandlung. Eine aerobe Vorbehandlung führt zu einem besseren Aufschluss der einzelnen Abfallkomponenten, wodurch die Halbwertszeit reduziert wird. Auch die Deponietechnik beeinflusst die Abbaugeschwindigkeit. Hier ist insbesondere die Kreislaufführung von Sickerwasser zu erwähnen, die zu einer Verringerung der Halbwertszeiten führt.

Die Verzögerungsphase ist jener Zeitraum nach der Ablagerung bis zum Beginn der Gasproduktion. Die Halbwertszeit und die Verzögerungsphase sind wiederum von der Abfallart abhängig. Dabei ist anzunehmen, dass es bei gemeinsamer Ablagerung verschiedener Abfallarten zu einer gegenseitigen Beeinflussung kommt.

In der folgenden **Tabelle 3** sind die Gesamtgasmenge G_e , die Halbwertszeit $t_{0,5}$ und die Verzögerungszeit t_1 angegeben. Ferner ist der aus der Halbwertszeit errechnete Koeffizient k und die aus der gesamten Gasmenge, der Halbwertszeit und der Verzögerungszeit errechnete max. Gasproduktion G_{tmax} getrennt nach Abfallart angegeben [11], [13], [14].

Die zugehörigen Gleichungen für die Berechnung von k und die max. Gasproduktion sind auf der folgenden Seite angegeben.

Tabelle 3 – Ausgangsdaten der Gasprognoseberechnung

Abfallart	Gesamtgasmenge [m³/t]	Schwankungsbereich [m³/t]	Halbwertszeit $t_{(0,5)}$ [a]	Rechenkoeffizient k	Verzögerungszeit bis max. Gasprod. t_1 in [a]	max. Gasproduktionsrate G_{tmax} [Nm³/t.a]
Mischmüll	150	120-300	10	0,0693147	3	10,40
Hausmüll	150	120-300	8	0,0866434	2	13,00
unvorbehandelter Restmüll	120	100-180	8	0,0866434	2	10,40
MBA-Restmüll	15	3-20	15	0,0462098	3	0,69
diagen. inertisierter Restmüll	100	K.A.	50	0,0138629	2	1,39
unsortierter Gewerbemüll	150	K.A.	9	0,0770164	3	7,70
sortierter Gewerbemüll	100	K.A.	9	0,0770164	2	7,70
Sperrmüll	50	K.A.	15	0,0462098	3	2,31
Klärschlamm-Mischabfall	50	K.A.	10	0,0693147	3	3,47
Klärschlamm-Monoabfall	15	0,3-8,4	15	0,0462098	5	0,69
Rindenmischabfall	100	K.A.	20	0,0346573	5	3,47

Die Gesamtgasmenge wurde teilweise aus den bei B. Weber [13] angegebenen TOC-Gehalten einzelner Abfallsorten rückgerechnet bzw. überprüft.

3.2.4 Berechnung der Gasmenge abhängig von der Zeit

Bei der Berechnungsformel nach Ehrig wird in den ansteigenden Ast bis zur Erreichung der maximalen Gasproduktion und den abfallenden Ast nach der maximalen Gasproduktion unterschieden. Die Formeln lauten dann:

Ansteigender Ast

$$G_t = G_{tmax} \cdot e^{-k_1 \cdot (t-t_1)}$$

Abfallender Ast

$$G_t = G_{tmax} \cdot e^{-k \cdot (t-t_1)}$$

wobei G_{tmax} : maximale Gasproduktionsrate =

$$G_{tmax} = G_e \cdot k$$

G_e = Gesamtmenge [Nm³/t]

k = $-\ln 0,5/t_{0,5}$

$t_{0,5}$ = Halbwertszeit in Jahren

t_1 = Verzögerungszeit bis zur max. Gasproduktion in Jahren

$$k_1 = \left(\ln \frac{G_{tmax}}{A} \right) / t_1$$

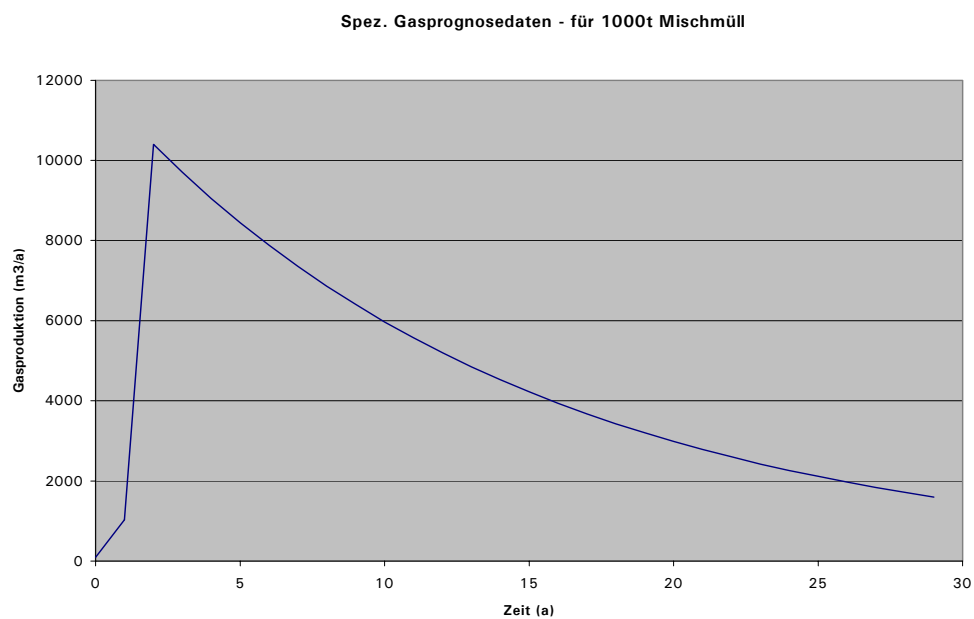
A = 0,01 Gasproduktion zum Zeitpunkt 0

Mit diesen Formeln erfolgt die Berechnung der Gasproduktion.

Wie in Punkt 3.1 beschrieben, wird mit diesem Gasmodell im Wesentlichen nur die Hauptphase der Gasproduktion beschrieben werden. Bei Ehrig ist angegeben, dass bedingt durch den Gehalt an schwer und sehr schwer abbaubaren Kohlenstoffverbindungen noch sehr langfristig mit einer Gasproduktion zu rechnen ist. Diese Gasproduktion wird mit einer Größenordnung von $1 \text{ m}^3/\text{t.a}$ angegeben. Diese langfristige Gasproduktion ist aufgrund der großen Zeiträume labormäßig nicht erfassbar. Eine direkte Messung auf Deponien ist praktisch nicht möglich, da diese Emissionen äußerst gering sind.

In der folgenden **Abbildung 8** ist exemplarisch der zeitliche Verlauf der Gasproduktion für Restabfall aus Haushalten wiedergegeben. Der zeitliche Verlauf der Gasproduktion für die anderen Abfallarten ist im Anhang 2 dargestellt.

Abbildung 8 – Zeitlicher Verlauf der Gasproduktion von Restabfall aus Haushalten



3.3 Gaszusammensetzung

Deponiegas besteht in der Phase der aktiven Gasproduktion im Wesentlichen aus Methan und Kohlendioxid. Stickstoff und Sauerstoff treten in dieser Phase meist nur in geringen Konzentrationen auf. Entsprechend den Literaturangaben beträgt der Methananteil:

Ehrig:	55 %
B. Weber	50-60 % (max. 70 %)

Messungen, die im Zuge von diversen vom Verfasser ausgearbeiteten Deponieentgasungsprojekten durchgeführt wurden, haben folgende Methankonzentrationen vor Inbetriebnahme der Entgasung ergeben.

Asten	59-66 %
Braunau	39-68 %
Amstetten	55-69 %

Die Messungen wurden dabei in einer Tiefe von 2-5 m unter der Deponieoberfläche durchgeführt, wobei starke örtliche und tiefenabhängige Schwankungen auftraten.

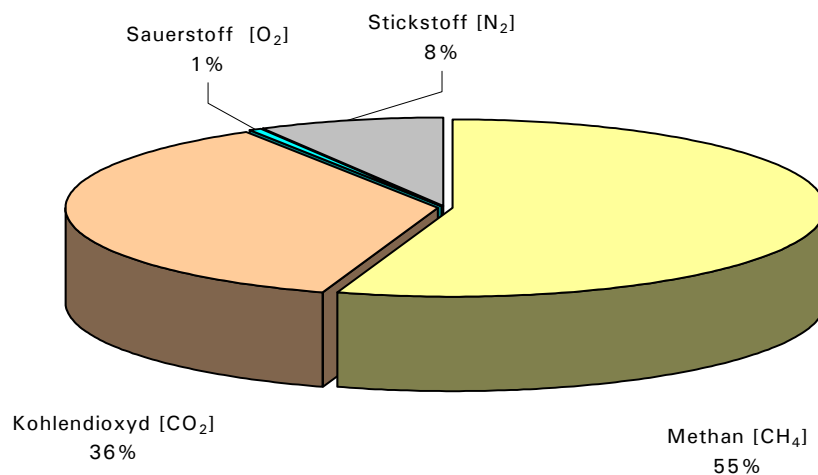
Von der Deponie Asten liegen weiters zahlreiche Gasuntersuchungen während des laufenden Betriebes der Entgasung vor. Diese Untersuchungen dienen dem Betrieb der Entgasungsanlage, daher wird der Methananteil und der Sauerstoffgehalt laufend gemessen. Im Zeitraum Jänner bis September 2000 (tägliche Werte) schwankte der Momentanwert des Methangehaltes zwischen 40,5 Vol.-% und 70 Vol.-%. Die Tagesmittelwerte schwanken zwischen 43,9 Vol.-% und 58,1 Vol.-%. Die Monatsmittelwerte schwanken zwischen 45,6 Vol.-% und 52,7 Vol.-%.

Bei den übrigen in OÖ befindlichen Deponien mit aktiver Entgasung wurden von den Betreibern Methangehalte des Deponiegases von 30-60 Vol.-% angegeben. Sowohl die in Linz gemessenen Werte als auch die von den übrigen Deponiebetreibern angegebenen Werte stimmen im Wesentlichen mit den Literaturwerten überein. Auf der Deponie in Asten liegt der Sauerstoffgehalt des Deponiegases im Tagesmittel zwischen 0 % und 0,2 %. Einzelne Momentanwerte können deutlich darüber liegen. Grundsätzlich ist zu bemerken, dass eine Deponiegasabsaugung bei Sauerstoffgehalten von über 2-3 % wegen der Explosionsgefahr eingestellt wird. Im eigentlichen Deponiegas, das durch den Abbau organischer Substanzen erzeugt wird, ist praktisch kein Stickstoff enthalten. Bei einer Entgasungsanlage wird durch den Unterdruck, der im Inneren des Deponiekörpers aufgebaut wird, Außenluft

nachgesaugt. Während der in der Luft enthaltene Sauerstoff aufgezehrt und in CO_2 umgesetzt wird, bleibt der Stickstoff unverändert. Daher ist bei Deponiegas, das aus einer Entgasungsanlage entnommen wird, häufig Stickstoff zu beobachten. Nach der Literatur kann dieser Stickstoffanteil bis zu 20 Vol.-% betragen. Bei einer umfassenden Analyse des Deponiegases der Deponie Asten wurden 6 Vol.-% bzw. 8 Vol.-% gemessen.

Der CO_2 -Anteil des durch den Abbau entstehenden eigentlichen Deponiegases beträgt 40-45 %. Bedingt durch den Stickstoffgehalt sinkt er in Deponiegas, das aus einer Absaugungsanlage entnommen wird, unter die oben zitierten Werte. Bei den oben angeführten Proben lag er bei ca. 35 %.

Abbildung 9 – Gaszusammensetzung der Deponie Linz-Asten (2001) (Volumsprozent)



Bei Deponiegas der Deponie Asten wurde eine Analyse auf das Vorhandensein sonstiger klimarelevanter Gase durchgeführt. Die vollständige Analyse ist im Anhang 3 wiedergegeben.

Es wurden dabei die Verbindungen

- Lachgas N_2O
- Schwefelhexafluorid SF_6

und die Gruppe der

- teilfluorierten Kohlenwasserstoffe H-FKW und mit den einzelnen Verbindungen CHF_3 , $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$, $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$, $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$
- perfluorierten Kohlenwasserstoffe (FKW) mit den Verbindungen CF_4 , C_3F_8

analysiert.

Weiters wurden folgende Fluor-, Chlor-, Kohlenwasserstoffe (FCKW) analysiert:

CCl_2F_2 , C_2ClF_3 , $\text{C}_2\text{H}_3\text{ClF}_2$, CCl_3F , $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2\text{F}$, $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$, $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$, CHClF_2 , CClF_3 , C_2ClF_5 , C_2HClF_4 .

Zusätzlich wurden folgende fluorhaltige Verbindungen geprüft:

COF_2 , SiF_4 , CBrF_3 , $\text{C}_6\text{H}_5\text{F}$

Bei den klimarelevanten Gasen SF_6 und N_2O wurden keine über der Nachweisgrenze von 1 ppm liegenden Konzentrationen gemessen. Auch bei den teilfluorierten Kohlenwasserstoffen und bei den perfluorierten Kohlenwasserstoffen wurden Konzentrationen der einzelnen Verbindungen von unter der Nachweisgrenze von 1 ppm festgestellt. Dies gilt auch für die weiteren analysierten fluorhaltigen Gase.

Nur bei den FCKW wurden bei fünf Substanzen messbare Konzentrationen (2-12 mg/Nm³) aufgefunden. Auch bei früheren Deponiegasuntersuchungen wurden FCKW in einzelnen Proben in der selben Größenordnung analysiert (1989 3 mg/m³ Trichlorfluormethan). Weiters wurden der Gesamtchlor- und Gesamtfluorgehalt analysiert. Der Gesamtchlorgehalt von 26 mg/m³ bzw. der Gesamtfluorgehalt von 18 mg/m³ liegt im Bereich der üblichen Literaturangaben.

Der Gesamtgehalt an FCKW beträgt 31 mg/Nm³ gegenüber ca. 396 g CH₄/Nm³.

Rechnet man für Methan mit dem Multiplikationsfaktor (GWP-Wert) von 21 zur Ermittlung der CO₂-Äquivalente und für die FCKW mit einem überschlägigen GWP-Wert von 5000, so zeigt sich, dass das im Deponiegas enthaltene Methan ca. 50-mal klimawirksamer ist als alle FCKW zusammen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass im Deponiegas Methan und Kohlendioxid klimarelevant sind. Weitere klimarelevante Gase wie N_2O und SF_6 liegen nur in Konzentrationen unter 1 ppm vor. Auch die Gruppe der teilfluorierten und perfluorierten Kohlenwasserstoffe tritt in Konzentrationen von unter 1 ppm auf. Bei Fluor-, Chlorkohlenwasserstoffe wurden Einzelkonzentrationen bis zu 12 mg/m³ gemessen. In Summe wurden 31 mg/Nm³ beobachtet.

Diese geringen Konzentrationen haben keine nennenswerten Auswirkungen auf die Klimarelevanz des Deponiegases und werden im Weiteren nicht mehr berücksichtigt.

Der Heizwert des Deponiegases liegt im Mittel, bedingt durch den Methangehalt von ca. 55 Vol.-% bei ca. 19,8 MJ/Nm³ (= 5,5 kWh/m³ Deponiegas).

Er schwankt entsprechend dem Methangehalt zwischen ca. 14,4 MJ/Nm³ (= 4,0 kWh/Nm³) bis ca. 23,4 MJ/Nm³ (= 6,5 kWh/Nm³).

3.4 Grundsätzliche Annahmen für die rechnerische Ermittlung der Gasproduktion

Die rechnerische Ermittlung der Gasproduktion baut wesentlich auf Laborversuchen und physikalisch-chemischen Modellen auf. Wesentlich geht hier die Abfallzusammensetzung ein. Für die rechnerische Ermittlung der Gasproduktion wird vorausgesetzt, dass die in OÖ abgelagerten Abfälle gleich bzw. ähnlich jenen Abfällen sind, mit denen die Laborversuche durchgeführt wurden bzw. auf denen die physikalisch-chemischen Modelle aufbauen (z. B. Gehalt an umsetzbarem organischen Kohlenstoff).

Bei der Berechnung wird die Gasproduktion getrennt nach Abfallart (z. B. Restabfall aus Haushalten, sperrige Abfälle, Klärschlamm) durchgeführt. Eine gegenseitige Beeinflussung der Gasproduktion der einzelnen Abfallarten kann nicht berücksichtigt werden, da darüber praktisch keine Unterlagen vorhanden sind, obwohl anzunehmen ist, dass eine derartige Beeinflussung stattfindet (z. B. entziehen stark hygroskopische Abfälle in der Nähe befindlichen Abfällen Feuchtigkeit und behindern damit den Abbau dieser Abfälle).

Speziell bei den Laborversuchen wurden optimale Umgebungsbedingungen für den anaeroben Abbau geschaffen (Luftfeuchtigkeit, ausreichende Feuchtigkeit, Temperatur), die in daraus entwickelten Daten für die rechnerische Prognose ihren Niederschlag fanden. Bei der rechnerischen Ermittlung wird vorausgesetzt, dass die Bedingungen auf der Deponie zumindest ähnlich den Laborbedingungen sind.

Einflüsse der Deponietechnik (z. B. Einbaumethode) werden nicht berücksichtigt. Allfällige Vorbehandlungen werden durch eine Reduktion der Gesamtgasmenge erfasst.

3.5 Rechnerische Ermittlung der auf den Deponien entstehenden Gasmenge

Mit der in Pkt. 2.5 ermittelten Abfallmenge und den in Pkt. 3.2.4 beschriebenen Formeln sowie den in Pkt. 3.4 dargestellten Annahmen wurden für alle in Betrieb befindlichen Deponien, für die Betriebsdeponie AMAG und die Geschwemmseldeponie in Braunau und für die sonstigen Deponien die theoretische Gasproduktion errechnet. Dabei wurde zunächst die Gasproduktion für das Jahr 2000 errechnet, wobei die abgelagerten Müllmengen ab dem Jahr 1970 berücksichtigt wurden.

Anschließend wurden die abgelagerten Mengen um die geschätzten Mengen für die Jahre 2001 bis 2003 ergänzt, wobei von gleichbleibender Menge und Qualität ausgegangen wurde. Mit diesen zusätzlichen Mengen wurde die Gasproduktion für das Jahr 2004 ermittelt.

In der Folge wurde die Gasproduktion für das Jahr 2010 berechnet. Dabei wurde davon ausgegangen, dass ab 2004 nur mehr Reststoffe von Verbrennungsanlagen (Aschen und Schlacken), die kein Methan erzeugen, und Reststoffe von mechanisch-biologischen Anlagen mit geringem Gaspotenzial (Tabelle 3) abgelagert werden. Bezüglich der Nutzung der einzelnen Deponien für die Ablagerung von Schlacken einerseits und MBA-Material andererseits wurde von der „Grundsatzstudie über die Restabfallentsorgung in OÖ ab dem Jahr 2004“ [6] ausgegangen. Der Aufteilung der Qualität und Mengen wurde das Szenario C1 dieser Studie zugrunde gelegt, da dieses Szenario derzeit aufgrund der für das Behördenverfahren eingereichten Projekte als wahrscheinlichste Lösung anzusehen ist. In Szenario C1 wird davon ausgegangen, dass die Verbrennungsanlage in Wels erweitert wird und im Großraum Linz eine mechanisch-biologische Anlage zur Vorbehandlung von Restabfällen aus Haushalten errichtet wird. Der Restabfall soll teilweise in der MBA vorbehandelt und teilweise in Wels verbrannt werden. Gewerbeabfälle und sperrige Abfälle werden verbrannt. Die Berechnung für die einzelnen Deponien sind in den Anhängen 4.1 bis 4.14 wiedergegeben. In der Tabelle 4 ist die Gasproduktion der einzelnen Deponien für die Jahre 2000, 2004 und 2010 wiedergegeben.

Bei dem in der nachstehenden **Tabelle 4** wiedergegebenen Abfallvolumen handelt es sich um die Summe der reaktiven oder gasbildenden Abfälle auf der jeweiligen Deponie. Inertstoffe, wie z. B. Aschen, Schlacken oder Bauschutt, sind in diesen Summen nicht enthalten.

Tabelle 4 – Rechnerische Gasproduktion

Deponiebezeichnung	2000		2004		2010	
	Volumen [m ³]	Gasprod. [Nm ³ /h]	Volumen [m ³]	Gasprod. [Nm ³ /h]	Volumen [m ³]	Gasprod. [Nm ³ /h]
Asten kommunal	3.060.000	1.435	3.345.000	1.355	3.525.000	847
Braunau kommunal	196.000	86	215.000	83	215.000	53
Laakirchen	840.000	232	850.000	200	850.000	139
St. Martin	257.000	114	355.000	173	355.000	120
Ort	725.000	319	795.000	305	795.000	199
Redlham	1.500.000	1.089	1.600.000	1.017	1.600.000	652
Steyr	576.000	256	660.000	266	735.000	183
Traun-Ansfelden	223.000	116	245.000	105	245.000	67
Summe Deponien in Betrieb mit aktiver Entgasung	7.377.000	3.647	8.065.000	3.504	8.320.000	2.260
Asten Klärschlamm	160.000	2	380.000	15	725.000	36
Hehenberg	205.000	79	210.000	59	210.000	40
Wels	235.000	152	235.000	109	235.000	67
Summe Deponien in Betrieb ohne aktive Entgasung	600.000	233	825.000	183	1.170.000	143
Braunau AMAG	32.000	12	32.000	8	32.000	6
Braunau ÖBK	37.000	3	37.000	3	37.000	2
Sonstige	1.950.000	725	1.950.000	546	1.950.000	356
Summe nicht in Betrieb befindl. Deponien	2.020.000	740	2.020.000	557	2.020.000	364
Gesamtsumme	9.997.000	4.620	10.910.000	4.244	11.510.000	2.767

Die Tabelle zeigt, dass die Gasproduktion, vor allem der heute betriebenen Deponien, vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2004 nur geringfügig um ca. 5 % absinkt. Dies liegt vor allem daran, dass weiterhin reaktionsfähige Abfälle abgelagert werden.

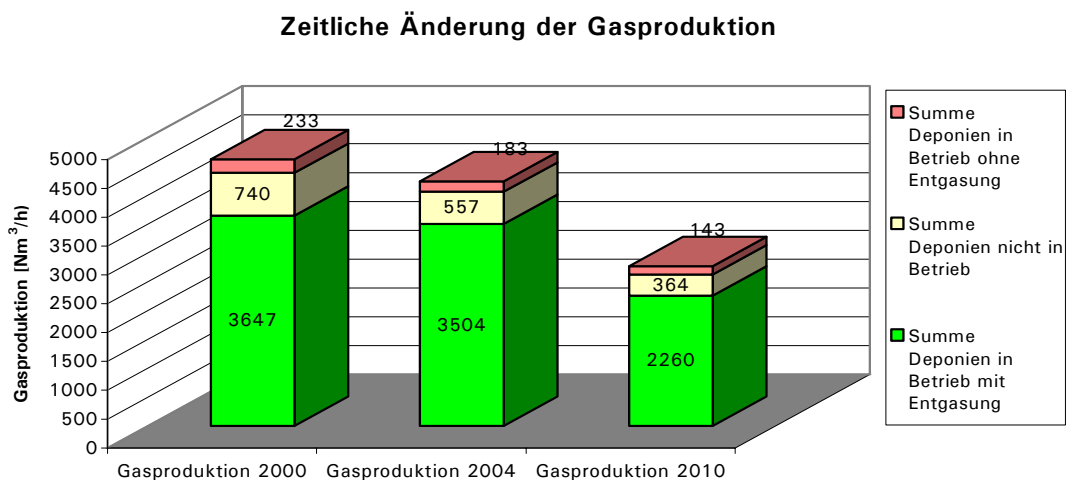
Bis zum Jahr 2010 sinkt die Gasproduktion gegenüber dem Jahr 2000 um ca. 38 % ab, da ab dem Jahr 2004 nur mehr vorbehandelte und damit reaktionsträge Abfälle abgelagert werden dürfen.

Bei jenen Deponien, die heute nicht mehr betrieben werden, sinkt die Gasproduktion im Jahr 2004 gegenüber dem Jahr 2000 um ca. 25 %, bis zum Jahr 2010 gegenüber 2000 um ca. 50 % ab.

Die Tabelle 4 zeigt weiters, dass im Jahr 2000 ca. 8,0 Mio.t oder ca. 80 % der reaktiven Abfälle auf den in Betrieb befindlichen Deponien abgelagert sind. Die Gasproduktion erfolgt zu ca. 84 % auf den in Betrieb befindlichen Deponien. Am Ende des Jahres 2004 werden ca. 81,5 % der reaktiven Abfälle bzw. 8,9 Mio.t auf den derzeit in Betrieb befindlichen Deponien abgelagert sein. Zu diesem Zeitpunkt erfolgen 87 % der Gasproduktion auf diesen Deponien. Bis zum Ende des Jahres 2010 steigt die Summe der abgelagerten reaktionsfähigen Abfälle auf diesen Deponien auf ca. 9,5 Mio.t an. Der Zuwachs ist zu ca. 60-65 % durch den reaktionsträgen Klärschlamm bestimmt. Beim Rest handelt es sich um vorbehandeltes Material aus mechanisch-biologischen Anlagen. Die Gasproduktion erfolgt im Jahr 2010 zu 87 % auf jenen Deponien, die auch heute in Betrieb sind.

Der zeitliche Verlauf der Gasproduktion ist im folgenden Diagramm dargestellt.

Abbildung 10 – Zeitlicher Verlauf der Gasproduktion der öö. Deponien



3.6 Energiepotenzial des rechnerisch anfallenden Deponiegases

Rechnerisch wurde ein mittlerer Heizwert von ca. $5,5 \text{ kWh/Nm}^3$ ($= 19,8 \text{ MJ/Nm}^3$) des anfallenden Deponiegases angesetzt, unabhängig davon, ob es verwertet wird, in den Deponiekörpern gespeichert ist oder diffus entweicht. Die auf den in Betrieb befindlichen Deponien derzeit (Jahr 2000) rechnerisch entstehende Gasmenge von $3647 \text{ Nm}^3/\text{h}$ entspricht damit einer jährlichen Rohenergie von ca. 633 TJ ($= 176.000.000 \text{ kWh}$.) Dies entspricht größenordnungsmäßig einer Menge von 16.000 t Heizöl schwer.

Berücksichtigt man auch das in den Deponien ohne Gas erfassung und das in den nicht mehr in Betrieb befindlichen Deponien anfallende Gas, er erhöht sich die jährliche anfallende Energiemenge auf ca. 803 TJ ($= 223.000.000 \text{ kWh}$) bzw. ca. 20.000 t Heizöl schwer.

4 Gaserfassung und –verwertung

4.1 Deponien mit Gaserfassung

Acht der elf in OÖ in Betrieb befindlichen Deponien gemäß Pkt. 2.1 und 2.2 , auf denen methanbildende Stoffe abgelagert werden, sind mit einem Gaserfassungssystem ausgestattet.

Es sind dies die Deponien

- Asten kommunal
- Braunau kommunal
- Laakirchen
- St. Martin
- Ort
- Redlham
- Steyr
- Traun-Ansfelden

Die Gaserfassung erfolgt bei diesen Deponien über vertikale Brunnen und Absauggebläse.

Die Absaugung muss so eingestellt werden, dass nach Möglichkeit das gesamte entstehende Deponiegas erfasst wird, aber keine Außenluft eingesaugt wird. Vor allem muss eine Sauerstoffkonzentration von über 2-3 % im abgesaugten Gasgemisch vermieden werden, da dieses Gemisch ansonsten explosiv würde. Ein geringfügiges Übersaugen ist aber weniger problematisch, da der eingesaugte Sauerstoff in der Deponie aufgezehrt wird und nur der inerte Stickstoff in das Deponiegas gelangt (z. B. wurde in der in Anhang 3 wiedergegebenen Gasproben Stickstoff nachgewiesen, der auf ein geringfügiges Übersaugen hindeutet).

Zusätzlich bewirkt gebildetes CO₂ eine Inertisierung, sodass die untere Explosionsgrenze eines Deponiegas-Luftgemisches höher liegt.

Die laufende Justierung der Absauganlage erfordert einen erheblichen messtechnischen und personellen Aufwand. Die Gasbrunnen selbst müssen die eintretenden Bewegungen (Setzungen, Translationen) im Deponiekörper möglichst ohne Beschädigungen mitmachen und regelmäßig überprüft werden.

Auf den acht der elf in Betrieb befindlichen Deponien wird entsprechend der Tabelle 4 94-95 % der Gesamtgasmenge der in Betrieb befindlichen Deponien rechnerisch produziert. Bezogen auf die gesamte Gasproduktion der in Betrieb befindlichen und der nicht mehr in Betrieb befindlichen Deponien gemäß Pkt. 2.3 und 2.4 entstehen 79-83 % der Gesamtgasmenge auf Deponien mit einem aktiven Gaserfassungssystem.

4.2 Erfasste Gasmengen

Im Zuge der Erhebung für die vorliegende Studie wurden die Deponiebetreiber über die im Jahr 1999 im Schnitt erfassten Gasmengen befragt und die Gesamtablagerungsmenge für diesen Zeitpunkt rechnerisch ermittelt (Tabelle im Anhang). Die berechneten Mengen und die Angaben der Betreiber, umgerechnet auf Jahresmittelwerte, sind in der nachstehenden **Tabelle 5** wiedergegeben. Für die Deponie Asten sind die Werte der Monate Jänner-September 2000, die dem Verfasser der vorliegenden Studie zur Verfügung standen, angegeben.

Tabelle 5 – Erfasste Gasmengen

Deponie	Gesamt- ablagerungs- menge [m³]	rechnerische Gasproduktion im Jahr 2000 [Nm³/h]	erfasste Gas- menge [Nm³/h]	spez. erfasste Menge [Nm³/m³.a]*
Asten kommunal	3.060.000	1.435	629	1,80
Braunau kommunal	196.000	86	8	0,36
Laakirchen	840.000	232	12	0,13
St. Martin	257.000	114	35	1,19
Ort	725.000	319	40	0,48
Redlham	1.500.000	1.089	240	1,40
Steyr	576.000	256	33	0,50
Traun-Ansfelden	223.000	116	1	0,04
Summe	7.377.000	3.647	998	ø 1,19

* Nm³ Gas pro m³ Ablagerung und Jahr

Vergleicht man die erfasste Gasmenge von ca. 1000 Nm³/h mit der insgesamt auf diesen Deponien rechnerisch produzierten Gasmenge von 3647 Nm³/h, so ergibt sich ein mittlerer Erfassungsgrad von 27 % für die in Betrieb befindlichen Deponien. Mehr als die Hälfte des insgesamt in OÖ erfassten Deponiegases wird auf der Deponie Asten gefasst. Vergleicht man hier die erfasste Gasmenge von 629 Nm³/h mit der rechnerisch produzierten Gasmenge von 1435 Nm³/h, ergibt sich ein Erfassungsgrad von ca. 44 %, der auch den üblichen Literaturwerten entspricht.

Allgemein kann gesagt werden, dass die Erfassung auf kleineren Deponien aufgrund der höheren spezifischen Oberflächen (= Verhältnis Volumen zu Oberfläche) augenscheinlich wesentlich schwieriger ist als auf großen Deponien. Aber auch auf relativ kleinen Deponien, wie in St. Martin, sind Gaserfassungsgrade von über 30 % möglich. Die obige Zusammenstellung zeigt weiters, dass auf den zwei größten Deponien in OÖ, nämlich Linz-Asten und

Redlham, 87 % aller erfassten Gasmengen erfasst werden, obwohl hier nur ca. 62 % aller Abfälle abgelagert sind. Auch diese Zahl zeigt, dass auf großen Deponien die Gaserfassungsrate im Allgemeinen höher ist als auf kleinen Deponien.

4.3 Gasverwertung

Die Gasverwertung erfolgt auf den Deponien Asten, Redlham und Steyr in Gasmotoren, die mit Generatoren gekuppelt sind. Die Gasmotoren sind in allen drei Fällen auf einer in der Nähe befindlichen Kläranlage aufgestellt. Auf diesen drei Deponien werden ca. 90 % der insgesamt in OÖ erfassten Deponiegasmengen abgesaugt. Die Abwärme der Gasmotoren wird zur Beheizung der Kläranlagen oder wie in Steyr auch zur Beheizung weiterer Gebäude genutzt. Das auf der Deponie Ort erfasste Gas wird thermisch in der „Nahwärmeversorgung Antiesenhofen“ verwertet. Auf den übrigen vier Deponien wird das Gas abgefackelt.

5 Gasmessungen auf den Deponien

Die Gasmessungen erfolgten auf den Deponien Asten und Redlham mit Zustimmung der Deponiebetreiber und wurden von der Linz Service GmbH.-IWA Institut für Wasseraufbereitung, Abwasserreinigung und Forschung als Subauftragnehmer durchgeführt.

5.1 FID-Begehung

5.1.1 Allgemeines

Auf der Deponie Asten-kommunal und Redlham, auf denen zusammen ca. 62 % der reaktionsfähigen Abfälle in OÖ gelagert sind, wurden einmalige Begehungen mit einem Flamminisationsdetektor durchgeführt. Mit diesem Gerät wird die Methankonzentration in Bodennähe gemessen. Es können Volumskonzentrationen zwischen 1 ppm und 100.000 ppm erfasst werden.

Die Messungen wurden in einem Raster von 15 m x 15 m durchgeführt (ein Messpunkt entspricht 225 m²). Die Lage der Messpunkte wurde vorher koordinativ festgelegt, auf der Deponie mittels Satellitenvermessung mit einer Genauigkeit von ca. 0,2 m gesucht und mit einer Genauigkeit von 0,01 m vermessen. Durch diese Vorgangsweise ist sichergestellt, dass es sich um eine unbeeinflusste Stichprobenverteilung der Messpunkte im Sinne der Statistik handelt. Die Messungen wurden nur in den Rasterpunkten durchgeführt.

Abbildung 11 – FID-Begehung



Die Aufzeichnung der Wettersituation während der FID-Begehungen wurde von der jeweils in der Nähe befindlichen Immissionsmessstation des Landes OÖ übernommen (Asten bzw. Vöcklabruck für Temperatur, Windstärke und Windrichtung, Linz ORF für Luftdruck). Alle Messungen wurden an niederschlagsfreien Tagen bei gleichbleibendem bzw. bei leicht fallendem Luftdruck durchgeführt. Die Windgeschwindigkeiten während der Messung lagen zwischen 0 (Windstille) und 3,0 m/s (leichter Wind). Bei den Messungen Ende März bzw. Anfang April in Asten bzw. Ende April in Redlham war die Vegetation noch nicht voll entwickelt, sodass das FID-Messgerät gut auf dem Boden aufgesetzt werden konnte.

Auf der Deponie Asten wurde an 480, auf der Deponie Redlham an 279 Punkten gemessen. Die Grundbelastung liegt in Asten entsprechend den Luftgütedaten des Amtes der OÖ. Landesregierung bei ca. 2 ppm Volumsanteile Methan. Dieser Wert entspricht gut dem in der Literatur angegebenen globalen Durchschnittswert.

Wertet man die Häufigkeitsverteilung der Messwerte aus, so zeigt sich auf beiden Deponien eine sehr ähnliche Verteilung.

Tabelle 6 – Messwertverteilung Methan

Messwerte ppm	relative Häufigkeit	
	Asten	Redlham
0-9	70,2	70,3
10-99	21,0	22,2
100-999	6,3	6,1
1000-9999	2,1	1,4
10000 und größer	0,4	0,0

5.1.2 Deponie Asten

Auf der Deponie Asten wurden nur Bereiche gemessen, die bereits endgültig abgedeckt sind. Auf den in Betrieb befindlichen Schüttbereichen und in jenen Bereichen, wo die Zwischenabdeckung gerade in Arbeit war, konnte nicht gemessen werden.

Höhere Konzentrationen (> 100 ppm) wurden vor allem an der westseitigen Böschung im Bereich Böschungsoberkante beobachtet (25 Punkte). Eine gewisse Häufigkeit höherer Konzentrationen trat weiters auf den Böschungen in der nordwestseitigen Ecke der Deponie auf (7 Punkte). 4 Punkte mit höheren Konzentrationen in unmittelbarer Nachbarschaft wurden am Böschungsfuß etwa in der Mitte der nordseitigen Böschung beobachtet. Die übrigen 7 Punkte mit Konzentrationen über 100 ppm waren unsystematisch über die Deponie verteilt.

Etwa zwei Drittel der Punkte mit höheren Konzentrationen stimmen mit Bereichen fehlender oder geschädigter Vegetation überein. Die mangelhafte Vegetation kann an einigen Punkten allerdings auch auf die dort sehr ungünstige Oberflächenabdeckung (grober Schotter ohne Feinteile) zurückgeführt werden. Derartige Oberflächenabdeckungen sind aber gleichzeitig sehr gasdurchlässig.

Im Bereich des weitgehenden horizontalen Plateaus der Deponie wurde eine teilweise mehrere Meter mächtige Abdeckung aus abgepresstem Klärschlamm aufgebracht. 173 Messpunkte von 190 in diesem Bereich weisen Konzentrationen unter 10 ppm auf.

5.1.3 Deponie Redlham

Auf der Deponie Redlham wurden Messungen sowohl in endgültig abgedeckten Bereichen wie in Bereichen mit Zwischenabdeckungen durchgeführt. Eine Häufung von Messpunkten mit deutlich überdurchschnittlichen Konzentrationen (> 100 ppm) traten dabei im Bereich einer Zwischenabdeckung auf, die vom westlichen Deponierand etwa zwischen Südecke und Westecke beginnend etwa bis zur Mitte der Deponie reicht (frühere Deponieauffahrt). Hier wurde lt. Aussage des Deponiebetreibers bis zum Jahr 1999 geschüttet.

Einzelne Punkte mit höherer Konzentration traten weiters im Bereich der nordseitigen Deponiekante im Übergang zum offenen Schüttbereich auf.

Der Großteil der Deponie ist bereits endabgedeckt. Dabei erfolgte die Endabdeckung im südlichen Teil mit zwei mineralischen Schichten von je 25 cm Stärke mit einer Durchlässigkeit von $k_f = 10^{-9}$ m/s. Im nördlichen Teil wurden statt der mineralischen Schichten zwei Lagen aus Bentonitmatten aufgebracht. Bei den Messungen ist kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Systemen erkennbar. Die Messwerte liegen im Allgemeinen in beiden Bereichen unter 10 ppm und sind damit gering.

5.2 Boxenmessungen

5.2.1 Allgemeines

Mit den Boxenmessungen soll der tatsächlich aus der Deponieoberfläche pro Flächeneinheit austretende Gasstrom erfasst werden. Das Ergebnis dieser Messung ist ein Massenstrom der in der gegenständlichen Studie in der Dimension mg Methan/m².s angegeben wird.

Boxenmessungen sind wesentlich aufwändiger und kostspieliger als FID-Messungen. Aus diesem Grund musste die Anzahl der Boxenmessungen gegenüber der Anzahl der FID-Messpunkte wesentlich reduziert werden.

Da aufgrund theoretischer Überlegungen und von in der Literatur angegebener Erfahrungen zu erwarten war, dass die wesentlichen Gasfrachten von wenigen Punkten mit hohen Konzentrationen ausgehen, wurden die Boxen bevorzugt an Punkten aufgestellt, bei denen bei

der FID-Messung hohe Konzentrationen aufgetreten waren. An den Punkten mit mittleren und niedrigen Konzentrationen wurden nur einzelne vergleichende Kontrollmessungen durchgeführt.

In Redlham wurden weiters aus zwei Boxen mit hohen Deponiegaskonzentrationen Gasproben entnommen und auf Methan und Kohlendioxid analysiert, wobei das Verhältnis Methan zu Kohlendioxid mit 0,60 zu 0,40 bzw. 0,52 zu 0,48 im üblichen Bereich lag.

Die Messung des Volumenstroms erfolgt, indem die Box zunächst durchlüftet wird, und anschließend der Konzentrationsanstieg in der Box gemessen wird. Mit dem Volumen der Box von 58 l, der Grundfläche von 0,23 m² und der verstrichenen Zeit wird anschließend der Massenstrom errechnet. Eine kleine Öffnung auf der Box gleicht den Luftdruck in der Box ständig dem umgebenden Luftdruck an.

Auf der Deponie Asten wurden zunächst 25 und auf der Deponie Redlham 15 Boxen aufgestellt, die je einmal beprobt wurden. Es zeigte sich, dass dabei im Wesentlichen bei Messpunkten, bei denen bei der FID-Messung höhere Konzentrationen beobachtet wurden, auch bei den Boxenmessungen höhere Massenströme gemessen bzw. errechnet wurden.

Abbildung 12 – Boxenmessung



Anschließend wurden in Asten 10 und in Redlham 5 Boxen ausgewählt, die noch 5-mal bzw. 4-Mal beprobt wurden. Die Messergebnisse bei den einzelnen Boxen zu den einzelnen Messzeitpunkten waren qualitativ und größenordnungsmäßig ähnlich, d.h., dass z. B. der größte Massenstrom zu allen Messzeitpunkten bei der gleichen Box beobachtet wurde. Einzelne Messwerte schwanken aber selbst erheblich (bis zu 1:10).

Ursache für die Schwankungen können nicht eindeutig angegeben werden. Es muss aber vermutet werden, dass die Witterung wesentlich die Messergebnisse beeinflusst. Die momentane Witterungssituation (Temperatur, Windverhältnisse), die Luftdrucktendenz (steigend, gleichbleibend, fallend) wie auch die Witterungsvorgeschichte (trockener rissiger Boden, durchfeuchteter dichter Boden, je nach Regenfällen vor der Messung) dürften eine Rolle spielen.

Die Witterungsparameter (Temperatur, Niederschlag) beeinflussen weiters die Aktivität der Mikroorganismen in den oberen Bodenschichten. Ein allfälliger Methanabbau in diesen Schichten ist daher auch witterungsabhängig. Das bedeutet, dass die Witterungsverhältnisse die Emissionen auch indirekt über die oberste Bodenschicht beeinflussen. Der organische Abbau von Methan wird in Punkt 6 detailliert behandelt.

Die Gasproduktion in der Deponie selbst dürfte kaum in den beobachteten Bandbreiten schwanken, da die für die Gasproduktion wesentlichen Parameter, wie abgelagerte Müllmenge und –qualität, Alter der Ablagerung, Temperatur und Feuchtigkeit im Inneren der Deponie sich in dem relativ kurzen Messzeitraum von 1,5 bzw. 2,5 Monaten nur unwesentlich ändern.

5.2.2 Deponie Asten

In Asten wurden zunächst 25 Boxen aufgestellt, wobei die Aufstellungsorte alle im Bereich von endabgedeckten älteren Schüttungen lagen.

Aus den Versuchsergebnissen ist zu ersehen, dass ein Zusammenhang zwischen den FID-Messungen und den Boxenmessungen gegeben, wobei aber eine erhebliche Schwankungsbreite vorhanden ist. Bei jenen 10 Boxen, die noch weitere fünfmal beprobt wurden, trat keine grundsätzliche Änderung auf. Boxen, bei denen bei den Erstmessungen kein Methananstieg gemessen wurde, wurden nicht bei allen Probenahmezyklen beprobt. Die gemessenen Emissionen lagen zwischen 0 mg/m².s und 22,9 mg/m².s. Sie sind damit etwas höher als in der Literatur allgemein angegeben. Ein Zusammenhang von Gasemissionen (mg CH₄/m².s) mit den Messungen der FID-Begehung (ppm) konnte nur abgeschätzt werden, wonach folgende, grobe Einteilung getroffen wurde (siehe **Tabelle 7**).

Tabelle 7 – FID-Messung – Methanemission

FID-Messung ppm	Emissionen mg/m ² .s	Rechenwert mg/m ² .s
> 1000	10-40	20
500-999	1-4	2
100-499	0,1-0,4	0,2
< 100	0,01-0,04	0,02

Die Genauigkeit dieser Zuordnung ist nicht exakt angebar. Der mögliche Fehler kann wiederum nur abgeschätzt werden, liegt aber größenordnungsmäßig beim Faktor 2, d. h. er beträgt –50/+100 %.

5.2.3 Deponie Redlham

In Redlham wurden zunächst 15 Boxen aufgestellt und einmalig beprobt. Die Boxen waren größtenteils in jenem zwischenabgedeckten Bereich aufgestellt, in dem bei der FID-Begehung die größten Konzentrationen beobachtet worden war. Weitere Boxen wurden aber auch in den endabgedeckten Bereichen aufgestellt.

Der Zusammenhang zwischen FID-Messungen und Boxenmessungen war in Redlham deutlicher zu erkennen als in Asten, aber auch hier traten erhebliche Schwankungen auf. Bei fünf Boxen wurden vier weitere Messungen durchgeführt, wobei sich keine grundsätzlichen Änderungen gegenüber der Erstmessung ergaben. Auch in Redlham lagen die gemessenen Emissionen mit 0-25,7 mg/m².s etwas höher als in der Literatur angegeben.

Auch in Redlham wurden jene Boxen, bei denen im Zuge der Erstmessungen keine Emissionen beobachtet wurden, nicht bei jedem Zyklus mit erfasst. Die Zuordnung der Gasemissionen zu den FID-Messpunkten erfolgte gleich wie in Asten.

5.3 Abschätzung der Emissionen aus den FID- und Boxenmessungen

5.3.1 Deponie Asten

In Asten wurden 480 FID-Messungen durchgeführt. Bei dem gewählten Raster 15 m x 15 m ist einem Messpunkt demnach eine Fläche von 225 m² zugeordnet. Entsprechend der in Pkt. 5.2 beschriebenen Zuordnung von FID-Messung zu Methanemissionen lassen sich die Emissionen dann wie folgt abschätzen (siehe **Tabelle 8**).

Tabelle 8– Emissionen Deponie Asten

FID-Messung ppm CH ₄	Anzahl	zugeordnete Fläche m ²	spez. Emission mg CH ₄ /m ² .s	Emission kg CH ₄ /h
> 1000	12	2.700	20	194,4
500-999	7	1.575	2	11,3
100-499	23	5.175	0,2	3,7
< 100	438	98.550	0,02	7,1
Summe	480	108.000		216,5

Es zeigte sich, dass ca. 95 % der CH₄-Emissionen auf nur ca. 4 % der Fläche erfolgten.

Setzt man an, dass in einem Nm³-Deponiegas ca. 55 Vol.-% Methan mit einem spezifischen Gewicht von 0,72 kg/m³ enthalten sind, so errechnet sich aus der Masse von 216,5 kg Methan/h ein Volumen von 547 Nm³ Deponiegas je Stunde. Die beschüttete Gesamtfläche der Deponie Asten beträgt derzeit 175.000 m². Bei einer linearen Hochrechnung der beobachteten Fläche von 108.000 m² auf die Gesamtfläche von 175.000 m² ergibt sich eine Gesamtemission von ca. 886 Nm³ Deponiegas je Stunde.

5.3.2 Deponie Redlham

Die 279 in Redlham durchgeführten FID-Messungen erfolgten ebenfalls im Raster von 15 m x 15 m, sodass ein Messpunkt wiederum eine Fläche von 225 m² repräsentiert. Die Zuordnung der FID-Messungen zu den Boxenmessungen erfolgt gleich wie in Asten. In der folgenden **Tabelle 9** ist die Gasemission errechnet.

Tabelle 9 – Emission Redlham

FID-Messung ppm CH ₄	Anzahl	zugeordnete Fläche m ²	spez. Emission mg CH ₄ /m ² .s	Emission kg CH ₄ /h
> 1000	4	900	20	64,8
500-999	3	675	2	4,9
100-499	14	3.150	0,2	2,3
< 100	258	58.050	0,02	4,2
Summe	279	62.775		76,2

In Redlham erfolgten 92 % der CH₄-Emissionen von 2,5 % der Fläche.

Rechnet man kg Methan/h wiederum in Deponiegas um, so ergibt sich mit den in Pkt. 5.3.1 angegebenen Werten aus der Emission von 76,2 kg Methan/h eine Emission von 192 m³ Deponiegas/h. In Redlham ist derzeit insgesamt eine Fläche von 105.000 m² beschüttet. Die Hochrechnung aus der beprobten Fläche von 62.775 m² auf 105.000 m² ergibt insgesamt eine Deponiegasemission von 322 Nm³/h.

5.4 FTIR-Messungen

Auf der Deponie Redlham wurde weiters die FID-(Flammenionisationsdetektor)Messung, die die Methankonzentration punktwise erfasst, mit der FTIR Open Path-(Fourier Transform Infrarotspektroskopie)Messung, die die mittlere Methankonzentration entlang einer Linie erfasst, verglichen. Die FID-Messung erfolgt in unmittelbarer Bodennähe.

Abbildung 13 – FTIR-Messung



Für die FTIR-Messung ist freie Sicht zwischen Sendegerät (Infrarotlampe) und Empfänger (Infrarotdetektor) erforderlich. Deswegen kann die FTIR-Messung stets nur in einem Abstand von 1-2 m über dem Boden erfolgen, um eine von Bodenunebenheiten oder Vegetation unbeeinflusste Sicht zu haben.

Der Vergleich der Messmethode erfolgte auf zwei Linien mit einer Länge von 77 m bzw. 56 m über dem Plateau der Deponie Redlham. Die Linie 1 mit 77 m Länge lag 10-15 m nördlich der südlichen Böschungsoberkante in einem Bereich mit fertiggestellter Oberflächenabdichtung, in dem bei der FID-Begehung nur Punkte mit geringerer Konzentration beobachtet worden waren. Linie 2 von 56 m Länge lag im Bereich der Zwischenabdeckung in der Mitte der Deponie, wo bei der FID-Begehung relativ hohe Werte festgestellt worden waren.

Gleichzeitig zu den FTIR-Messungen erfolgte die Begehung mit dem FID auf einer knapp daneben parallel liegenden Strecke. Eine Begehung exakt in der gleichen Strecke war wegen der Unterbrechung des FTIR-Strahles nicht möglich.

Auf der Messstrecke 1 wurde mit dem FTIR ein Mittelwert von ca. 2,2 ppm Methan gemessen. Kurzzeitig wurden Spitzenwerte von 5 ppm beobachtet. Ein Wert von etwa 2 ppm entspricht der allgemeinen Grundbelastung. Der gemessene Mittelwert von 2 ppm ist also praktisch gleich der Grundbelastung. Die Messung ergibt daher keinerlei Hinweise auf Methanemissionen entlang der gemessenen Linie.

Bei den gleichzeitig parallel durchgeführten FID-Messungen wurden Werte zwischen 0,3 und 9,8 ppm in Bodennähe beobachtet, was ebenfalls auf keine oder äußerst geringe Emissionen schließen lässt.

Auf der Messstrecke 2 wurde mit dem FTIR eine mittlere Konzentration von 6,1 ppm bzw. 5,1 ppm mit Spitzenwerten von ca. 18 ppm beobachtet. Die gleichzeitig durchgeführten bodennahen FID-Messungen ergaben Konzentrationen zwischen 76,3 ppm und 168,9 ppm Methan. In beiden Fällen liegen die Messwerte deutlich über der Grundbelastung, sodass auf Emissionen im Westbereich geschlossen werden muss.

Die bei den FTIR-Messungen beobachteten kurzzeitigen Konzentrationsschwankungen zwischen 2 ppm und 18 ppm auf der Messstrecke 2 dürften wahrscheinlich wesentlich auf Windeinflüsse zurückzuführen sein (höhere Konzentrationen am Morgen und am Vormittag bei geringer Windgeschwindigkeit – niedrigere Konzentrationen am Nachmittag bei höherer Windgeschwindigkeit).

Es zeigte sich, dass die FTIR-Messung im Stande ist, Bereiche mit stärkeren Emissionen zu erfassen. Punktuelle Quellen können mit dieser Methode wahrscheinlich nicht festgestellt werden, da sie genau im Messstrahl liegen müssten. Eine Abschätzung von emittierten Frachten auf Basis von Emissionsmodellen erscheint kaum durchführbar, da dafür einerseits die Art der Quelle (punktförmig, linienförmig, flächenförmig) nicht definiert werden kann und andererseits die Windverhältnisse in Bodennähe kaum erfassbar sind.

In der Literatur [36] ist weiters eine Abschätzung der Fracht mit einem Tracergas (Lachgas N_2O) angegeben, das auf der Deponie planmäßig emittiert wird. Diese Methode ist aber aufwändig und in ihrer Aussagegenauigkeit problematisch.

6 Vergleich der rechnerischen Emissionen und der gemessenen Emissionen

6.1 Gaserfassung

Entsprechend den Angaben der jeweiligen Deponiebetreiber (Pkt. 4.2) wurden im Jahresmittel über die Absaugung folgende Gasraten erfasst:

Asten (2000): 629 Nm³/h

Redlham (1999): 240 Nm³/h

6.2 Rechnerische Emissionen

6.2.1 Gasproduktion

Die theoretische Gasproduktion wurde in Pkt. 3.4 ermittelt. Für das Jahr 2000 werden folgende Deponiegasraten errechnet:

Asten 1435 Nm³/h

Redlham 1089 Nm³/h

6.2.2 Methanabbau in der belebten Bodenschicht

6.2.2.1 Allgemeines

Es ist bekannt, dass Methan in der belebten Bodenschicht im begrenzten Maße abgebaut wird. Die adaptierten methanotrophen Mikroorganismen sind aerob, d. h. sie benötigen eine ausreichende Sauerstoffversorgung. Der minimale Sauerstoffgehalt in der Bodenluft beträgt dabei ca. 2 %. Für die Oxidation von 1 g Methan werden dabei 4 g Sauerstoff benötigt.

Der Methanabbau ist weiters temperaturabhängig. In älteren Veröffentlichungen wird angegeben, dass sich die Aktivität bei einer Temperaturerhöhung von 10 °C auf 20 °C mehr als verdoppelt. Neueste Untersuchungen der Universität für Bodenkultur in Wien zeigen aber, dass der Methanabbau in einem Temperaturbereich von +5 °C bis +30 °C nur unwesentlich von der Bodentemperatur abhängt.

Für einen Methanabbau in der belebten Bodenschicht ist weiters ein ausreichender Wassergehalt erforderlich. In der Literatur wird dabei ein Mindestwassergehalt von 13-15 % der Feldkapazität angegeben. Die besten Bedingungen für eine Methanoxidation liegen bei einem Wassergehalt von 40-80 % der Feldkapazität des Bodens vor [18], [19], [20], [21].

Weiters sind ausreichende Aufenthaltszeiten des Methans im Boden erforderlich, um den Übergang des Methans in die wässrige Phase zu ermöglichen, in der es von den Mikroorganismen verwertet werden kann.

Für die Methanoxidation am besten geeignet sind Böden mit großem Porenvolumen, in denen eine ausreichende Sauerstoffversorgung stattfinden kann. Weiters sind ein ausreichender Gehalt an organischen Bodeninhaltsstoffen sowie eine ausreichende Nährstoffversorgung wichtig. Bei Laborversuchen ergab eine Beimischung von Klärschlamm, Torf oder Grünabfallkompost eine deutliche Steigerung der Methanelimination im Boden. Der Methanabbau im Boden wird hingegen durch verschiedene Substanzen wie z. B. Ammonium, Vinylchlorid oder teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe behindert.

6.2.2.2 In der Literatur beschriebener Methanabbau

Exakte Messungen des Methanabbaues sind vor allem im Labor möglich und auch in der Literatur veröffentlicht. Messungen auf Deponien sind derzeit in Niederösterreich im Gange, wobei bis jetzt aber nur qualitative Ergebnisse dieser Messungen in der Literatur veröffentlicht wurden [21].

Bei den Labormessungen wurden verschiedene Böden untersucht. Die Messungen wurden im Allgemeinen bei Raumtemperatur mit synthetischem Deponiegas (also ohne allenfalls störende Beimengungen von z. B. Ammoniak) durchgeführt. Die Versuchsbedingungen waren bei den einzelnen Untersuchungen unterschiedlich (z. B. Methankonzentration im zu strömenden Gas), sodass die Ergebnisse nur bedingt vergleichbar sind.

Die höchsten Methaneliminationsraten konnten dabei mit Müllkompost bzw. Biomüllkompost (hoher organischer Anteil) erreicht werden. Bei den verwendeten Müllkomposten handelte es sich um gut ausgereifte Produkte. Hier wurden bei einer Beschickungsrate von 20 l bzw. 25 l Methan/m².h (= 14-18 g CH₄/m².h) eine nahezu 100%ige Entfernung erzielt (4-5 mg/m².s = 14-18 g/m².h).

Bei natürlichen Böden wurde hingegen nur eine Eliminationsrate von 2-6 g Methan/m².h (= 3-8 l/m².h) bei den Laborversuchen beobachtet.

6.2.2.3 Vergleich des im Labor gemessenen Methanabbaues mit dem Methanzustrom

Wie in Pkt. 5 beschrieben, treten über 90 % der Methanemissionen an nur 2,5-4 % der Fläche bei den untersuchten Deponien auf. Bei den Boxenmessungen wurden an hoch belasteten Stellen Methanmassenströme von bis zu 25 mg/m².s = 90 g/m².h beobachtet. Werte in der Größenordnung von 10 mg/m².s = 36 g/m².h wurden bei mehreren Boxen gemessen. Diese Werte liegen also rund 10-mal so hoch, wie die im vorhergehenden Punkt beschriebenen, entfernbaren Methanmengen bei natürlichen belebten Bodenschichten.

Aufgrund des konzentrierten Ausströmens des nicht erfassten Deponiegases in wenigen Bereichen ist eine wesentliche oder vollständige Elimination in der belebten Bodenschicht nicht zu erwarten, da die Abbauleistung des Bodens nicht ausreicht bzw. eine ausreichende Versorgung mit Luftsauerstoff nicht zu erwarten ist.

Ursache für die oben beschriebene geringe Abbauleistung dürfte vor allem die geringe Verweilzeit des Methangases in den Poren des Bodens aufgrund der hohen Gasflussraten sein. Das Methan findet kaum Zeit, in die wässrige Phase, in der es von Mikroorganismen verarbeitet werden kann, zu diffundieren. Dadurch kann es biologisch nicht abgebaut werden. Weiters sind Bereiche, in denen konzentriert Deponiegas austritt, fallweise relativ trocken (hohe Temperatur), sodass hier der erforderliche Wassergehalt für einen mikrobiellen Methanabbau nicht gegeben ist.

6.2.2.4 Angesetzte Abbaurate

Aus den o.a. Gründen kann ein Methanabbau bei den bestehenden Deponien an den o.a. Austrittsstellen nur mit 0-10 % des emittierten Methans angesetzt werden. Im Folgenden wird mit 5 % gerechnet.

Geht man davon aus, dass das in der belebten Bodenschicht abgebaute Methan vollständig zu Kohlendioxid oxidiert wird und wenn man ansetzt, dass das Volumen des verbrauchten Sauerstoffes und das Volumen des entstehenden Wasserdampfes gleich sind und der Wasserdampf nicht dem Deponiegas zugerechnet wird, so ändert sich nur das Verhältnis Kohlendioxid zu Methan während das Volumen des Deponiegases gleich bleibt.

6.2.3 Theoretische Berechnung der nicht erfassten Emission

Ermittelt man die Emission als Differenz von produzierten und erfassten Gasmengen, so ergeben sich folgende Werte:

		Emission absolut [Nm³/h]	Ober- fläche [m²]	Emission spezifisch [l/m².h]
Asten	1435 - 629	806	175.000	4,6
Redlham	1089 - 240	849	105.000	8,1

6.3 Auf Basis der Messungen abgeschätzte, nicht erfasste Emissionen

Auf Basis der FID-Begehung und der Boxenmessungen wurden in Pkt. 5 folgende Emissionen abgeschätzt:

Asten:	886 Nm ³ /h
Redlham:	322 Nm ³ /h

Die Genauigkeit der Messungen muss mit $-50/+100$ % abgeschätzt werden, sodass entsprechend den Messungen die Emissionen im folgenden Bereich liegen dürften:

Asten:	449-1796 Nm ³ /h
Redlham:	163-652 Nm ³ /h

Während in Asten die gerechneten und die gemessenen Emissionen gut übereinstimmen, wurden in Redlham doch deutlich weniger Emissionen gemessen als berechnet.

6.4 Mögliche Ursachen für die Differenzen zwischen gemessenen und gerechneten Emissionen

6.4.1 Ursachen zufolge Berechnung

Die Ergebnisse der Berechnung sind von den drei Eingangsparametern Gesamtgasmenge, Halbwertszeit und Verzögerungszeit abhängig.

Eine Variation des Parameters Verzögerungszeit wurde für Asten durchgeführt, wobei eine Reduktion der Verzögerungszeit gegenüber den in Tabelle 1 angegebenen Werte um je 1 Jahr (z. B. Reduktion von 2 Jahre auf 1 Jahr) erfolgte. Dadurch erhöhte sich die gesamte Gasproduktion in Asten im Jahr 2000 von 1435 Nm³/h auf 1549 Nm³/h, also um 7,9 % und reduzierte sich für das Jahr 2004 von 1355 Nm³/h auf 1295 Nm³/h, also 4,4 %. Eine Variation des Parameters Verzögerungszeit tritt daher nicht wesentlich im Ergebnis in Erscheinung.

Zu einer Abschätzung des Parameters Halbwertszeit wurden die in Tabelle 1 angegebenen Halbwertszeiten auf zwei Drittel reduziert. Die Berechnung wurde wiederum für die Deponie Asten durchgeführt. Durch diese Reduktion nahm in Linz für das Jahr 2000 die rechnerische Gasproduktion von 1435 Nm³/h auf 1644 Nm³/h zu. Diese Zunahme beträgt als 14,6 %. Für das Jahr 2004 wurde eine Zunahme von 1355 Nm³/h auf 1423 Nm³/h, also um 5,0 % errechnet. Eine Variation des Parameters Halbwertszeit hat zwar stärkere Auswirkungen als die Verzögerungszeit, ist aber wie oben dargestellt, ebenfalls nicht ausschlaggebend für das Ergebnis.

Der Parameter Gesamtgasmenge geht linear in das Rechenergebnis ein. Dieser Parameter ist daher ausschlaggebend. Er wurde hauptsächlich in Laborversuchen ermittelt. Bei den Laborversuchen wird der Abfall unter optimalen Bedingungen in Bezug auf Feuchtigkeit und Temperatur gehalten, da ansonsten die Versuchszeiten sehr groß würden. Inwieweit diese Bedingungen auf Deponien erfüllt sind, wird im Folgenden betrachtet.

Die unterschiedliche Gasproduktion der einzelnen Abfallarten wird in der Berechnung berücksichtigt. So ist eingerechnet, dass früher Hausabfälle mit hohem biogenen Anteil (siehe auch Pkt. 3.2) abgelagert wurden, während heute Restabfälle aus Haushalten mit etwas geringem, biogenem Anteil abgelagert werden.

Schwieriger ist der Ansatz für die Gesamtgasmenge bei Gewerbeabfällen, da bei dieser Abfallart die Zusammensetzung wesentlich stärker schwanken kann als bei Abfällen aus Haushalten. Aufgrund des hohen Gewerbeabfallanteils in Redlham wirkt sich eine Abweichung bei der angesetzten Gesamtgasmenge hier stärker als bei anderen Deponien aus.

In Redlham ist knapp die Hälfte der Gasproduktion auf Mischabfall und Restabfall aus Haushalten zurückzuführen. Der übrige Teil der Gasproduktion resultiert im Wesentlichen aus Gewerbeabfall. Sperrabfall und Klärschlamm spielt eine untergeordnete Rolle. Reduziert man in Redlham die Gesamtgasmenge des Gewerbeabfalles auf die Hälfte, so reduziert sich die Gasproduktion etwa um ein Viertel, da der Gasanfall des Gewerbeabfalles wieder etwa die Hälfte der Gasproduktion ausmacht. Unter Berücksichtigung der abgesaugten Menge und des Abbaues in der obersten Bodenschicht reduziert sich die rechnerische Gasemission dann auf $0,75 \times 1089 - 240 = 577 \text{ m}^3/\text{h}$. Dieser Wert liegt noch deutlich über dem nach den Messungen ermittelten Wert von $322 \text{ m}^3/\text{h}$, aber innerhalb der möglichen Schwankungsbreite, sodass hier eine mögliche Ursache für die Differenz zwischen Rechnung und Messung zu suchen ist.

Die Gasproduktion wird in Asten vom Hausabfall bestimmt. Es ist also vor allem der für diese Abfallart eingesetzte Wert der Gesamtgasproduktion für das Berechnungsergebnis bestimmend. Die Literaturangaben schwanken im Wesentlichen zwischen 100 m^3 und 250 m^3 Deponiegas/t Feuchtabfall. Einzelne größere und kleinere Werte sind in der Literatur ebenfalls angegeben. Das heisst, um den in der Rechnung angenommenen Wert von $150 \text{ Nm}^3/\text{t}$ beträgt die Schwankungen etwa $-33/+67 \%$. Für andere Abfallarten gibt es nur vereinzelt Angaben zur Gasproduktion, sodass eine Schwankungsbreite nicht angegeben werden kann.

Reduziert man die Gesamtgasproduktion in Redlham um 33 %, so ergibt sich unter Berücksichtigung der abgesaugten Menge und der Reduktion in der belebten Bodenschicht folgender rechnerischer Wert für die Emission $0,67 \times 1089 - 240 = 490 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Dieser Wert liegt zwar schon wesentlich näher an dem mit den Messungen abgeschätzten Wert von $322 \text{ Nm}^3/\text{h}$, aber doch noch deutlich darüber. Würde man in Asten ebenso vorgehen, wie oben für Redlham beschrieben, würde sich die rechnerische Emission in Linz auf $332 \text{ Nm}^3/\text{h}$ reduzieren und damit nur etwa ein Drittel des gemessenen Wertes von $886 \text{ Nm}^3/\text{h}$ betragen.

In Anbetracht des Messergebnisses in Asten erscheint eine Veränderung der Eingangswerte der Rechnung für alle Deponien wenig sinnvoll.

6.4.2 Ursachen zufolge Messung

Die Unsicherheiten der Messung können nur abgeschätzt werden und wurden in 6.3 mit $-50/+100 \%$ angegeben. Mit den Unsicherheiten der Messung kann die in Linz aufgetretene Differenz zwischen rechnerischem Ergebnis und Messergebnis gut erklärt werden. Die Redlham aufgetretene Differenz zwischen Rechnung und Messung dürfte aber nicht allein auf die Unsicherheiten auf die Messung zurückzuführen sein.

6.4.3 Verringerung der Gasproduktion

Eine Verminderung der Gasproduktion tritt bei einer reduzierten biologischen Aktivität im Inneren der Deponie auf. Die Deponie Redlham kann im Wesentlichen in den alten Bereich mit den Schüttabschnitten II, III und IV und dem neuem Bereich mit den Schüttabschnitten V, VI und VIII gegliedert werden. Die Schüttabschnitte II, III und IV wurden im Wesentlichen in den Jahren 1975-1990 beschüttet. Sie wurden 1994 mit einer wasserundurchlässigen Oberflächenabdeckung versehen. Die neueren Abschnitte wurden in den Jahren 1990-1998 beschüttet. In diesen Abschnitten wird das aus der Sickerwasseraufbereitung kommende Konzentrat verrieselt, sodass hier stets eine ausreichende Wasserversorgung gegeben sein dürfte. Diese Abschnitte wurden im Jahr 1998 mit einer wasserundurchlässigen Oberflächenabdichtung versehen.

Für die beiden beschriebenen Bereiche bestehen keine getrennten Erfassungen der Gasmenge. Nach einer mündlichen Mitteilung des stellvertretenden Deponieleiters beträgt die Gasproduktion in den Schüttabschnitten II, III und IV größenordnungsmäßig nur ein Drittel bis ein Viertel der Gasproduktion der Schüttabschnitte V, VI und VIII. Das Gesamtvolumen der beiden Bereiche ist größenordnungsmäßig ähnlich. Der Unterschied der Gasproduktion ist hauptsächlich auf das unterschiedliche Ablagerungsalter (auf durchschnittlich 7 Jahre

bzw. durchschnittlich 18 Jahre) zurückzuführen. Entsprechend dem im Anhang 2/1 wiedergegebenen zeitlichen Verlauf der Gasproduktion sollte er bei dem älteren Abschnitt ca. 35-40 % der Gasproduktion des jüngeren Abschnittes betragen. Das heisst, die beobachtete Gasproduktion des älteren Abschnittes ist geringer als theoretisch zu erwarten, wenn die Differenzen auch nicht signifikant sind.

In beiden Bereichen werden Setzungsmessungen durchgeführt. Im Bereich der alten Ablagerungen (II, III, IV) betragen die Setzungen im Zeitraum März 2000 bis April 2001 ca. 2-3 cm. Im gleichen Zeitraum traten im Bereich der Schüttabchnitte V, VI und VIII Setzungen in einer Größenordnung von 20 cm auf. Bei einer Gesamthöhe von ca. 23 m im Bereich der alten Schüttungen betragen die Setzungen also ca. 1 ‰ der Gesamthöhe, während sie im Bereich der neuen Schüttungen ca. 1 % betragen. Die Tatsache, dass der Abfall in den Abschnitten II, III und IV bereits wesentlich länger liegt als in den Abschnitten V, VI und VIII, dürfte zwar die wesentliche Erklärung für den großen Unterschied der Setzungen in beiden Bereichen sein, ist aber nicht im Stande, den Unterschied um den Faktor 10 zu erklären. Setzungen um nur 1 ‰ pro Jahr liegen auch deutlich unter den in der Literatur angegebenen Werten für andere Deponien.

Wegen des Fortschrittes in der Deponietechnik ist anzunehmen, dass das in den später verfüllten Bereichen V, VI und VIII abgelagerte Material beim Einbau besser verdichtet wurde, als in den älteren Abschnitten II, III und IV. Der große Unterschied in den Setzungen kann daher nicht auf die unterschiedlichen Einbaumethoden zurückgeführt werden.

Die Faktoren

- geringe Gesamtgasentwicklung,
- geringe Gasentwicklung in den Abschnitten II, III und IV,
- geringe Setzungen in den Abschnitten II, III und IV

deuten darauf hin, dass in den Abschnitten II, III und IV die biologischen Aktivitäten nur mehr gering sind. Da dieser Bereich im Gegensatz zu den anderen Bereichen nicht bewässert wird, aber gleich wie der andere Bereich wasserundurchlässig abgedeckt ist, liegt der Schluss nahe, dass hier die biologische Aktivität wegen des Wassermangels nur mehr gering ist.

6.5 Weitere Schlüsse aus den Messergebnissen

6.5.1 Asten

In Asten wurden bei einzelnen augenscheinlichen Fehlern in der Abdeckung und schlecht abgedeckten Bereichen erhebliche Emissionen gemessen, obwohl der darunterliegende Abfall bereits viele Jahre oder Jahrzehnte liegt. Die Bereiche mit den größten Emissionen waren dabei relativ weit vom Gasbrunnen entfernt. Wegen des relativ langsamen Hochziehens der Schüttung und der relativ späten Abdeckung des Plateaus dürfte der Abfall in Asten ausreichend mit Wasser versorgt sein. Die sehr gute Übereinstimmung von Messung und Berechnung zeigt, dass der gewählte Rechenansatz grundsätzlich brauchbar ist.

6.5.2 Redlham

In Redlham traten die großen Konzentrationen vor allem über einem relativ frisch geschütteten Bereich mit Zwischenabdeckungen auf. Die Zwischenabdeckung besteht aus Schlacke der MVA-Wels, ist biologisch vollständig inaktiv und emittiert selbst kein Methan, d. h. die Emissionen sind ausschließlich auf den darunterliegenden Abfall zurückzuführen.

Bei den gängigen Rechenansätzen wird von einer Verzögerungszeit von 1-3 Jahren bis zur größten Gasentwicklung des Abfalles gerechnet. Diese Verzögerungszeiten müssen aufgrund der großen Konzentration im Bereich der frischen Schüttungen, die teilweise knapp 1 Jahr alt waren, angezweifelt werden. Es muss im Gegenteil angenommen werden, dass der Abfall sehr rasch, also bereits während oder kurz nach dem Einbau zu gasen beginnt.

Wie in Pkt. 6.4 gezeigt, hat eine Variation der Verzögerungszeit in der Berechnung nur geringen Einfluss auf die errechnete Gesamtgasfracht, sodass eine Korrektur der Berechnung unterbleiben kann.

6.6 Abminderungsfaktoren

Zur Erfassung der Emission, die für die nicht gemessenen Deponien nur rechnerisch erfolgen kann, ist es erforderlich, die Differenz zwischen theoretischer Methanproduktion und erfasster Methanmenge mit einem Abminderungsfaktor zu multiplizieren. Dieser Faktor soll sowohl den Methanabbau in der obersten Bodenschicht als auch eine verzögerte Gasproduktion der Deponie berücksichtigen. Er setzt sich daher aus einem Teilfaktor für den Methanabbau und einem Teilfaktor für die verzögerte Gasproduktion zusammen.

Das beim Methanabbau in der obersten Bodenschicht entstehende CO₂ und das im Deponiegas enthaltene CO₂ werden beide bei den folgenden Betrachtungen nicht in Rechnung gestellt, da davon ausgegangen wird, dass der darin enthaltene Kohlenstoff aus gut abbaubaren organischen Verbindungen stammt, bei deren Bildung (in jüngster Zeit) die gleiche Kohlenstoffmenge der Atmosphäre entzogen wurde.

Bei einer aktiven Deponie treten die wesentlichen Gasfrachten an wenigen Stellen relativ konzentriert aus. Ein wesentlicher Abbau in der belebten Bodenschicht tritt nicht auf. Er wird auf eine Größenordnung von 0-10 % geschätzt. Im Mittel wird daher mit einem Abbau von 5 % bzw. einem Abminderungsfaktor von 0,95 gerechnet.

Der Abminderungsfaktor für reduzierte Deponieaktivität kann nur geschätzt werden. Er wird in Asten mit 1,0, in Redlham mit 0,75 angesetzt. Für die übrigen in Betrieb befindlichen Deponien mit aktiver Entgasung wird er mit 0,9 angesetzt. Für in Betrieb befindliche Deponien ohne aktive Entgasung wird er mit 0,85, für nicht mehr in Betrieb befindliche Deponien wird mit 0,8 gerechnet.

Der Abminderungsfaktor errechnet sich dann als Produkt des Faktors für Abbau in der belebten Bodenschicht (0,95) und des Faktors für verminderte biologische Aktivität (0,75 bis 1,0). Er wird für die folgenden Berechnungen auf volle 5 % gerundet.

Tabelle 10 - Abminderungsfaktoren

Deponienname	Faktor für Abbau belebte Bodenschicht	Faktor für reduzierte Aktivität	Abminderungsfaktor
Asten	0,95	1,00	0,95
Redlham	0,95	0,75	0,70
Übrige in Betrieb befindl. Deponien mit aktiver Entgasung	0,95	0,90	0,85
In Betrieb befindl. Deponien ohne aktive Entgasung	0,95	0,85	0,80
Nicht mehr in Betrieb befindliche Deponien	0,95	0,80	0,75

7 Emissionen der Deponien

7.1 Auswirkung von Gaserfassung und -verwertung auf die Emissionen

7.1.1 Gaszusammensetzung und Heizwert

Für die nachstehenden Überlegungen wird von folgender Deponiegaszusammensetzung ausgegangen, die sich auch bei den durchgeführten Messungen und Auswertungen im Wesentlichen bestätigt hat:

Methan:	55 Vol.-%
Kohlendioxid:	45 Vol.-%

Diese Gaszusammensetzung gilt im Wesentlichen für neuere Deponien in der aktiven Gasphase. Bei alten Ablagerungen geht der Methananteil zu Gunsten von Kohlendioxid zurück. Da, wie im Vorhergehenden dargelegt, die in Betrieb befindlichen Deponien in der aktiven Gasphase für die Emissionen maßgebend sind, wird im weiteren mit der oben angegebenen Gaszusammensetzung gerechnet.

Bei einer Dichte von Methan von $0,72 \text{ kg/Nm}^3$ und Kohlendioxid von $1,98 \text{ kg/Nm}^3$ sind in 1 m^3 Deponiegas (ohne sonstige Beimischungen) $0,396 \text{ kg}$ Methan und $0,891 \text{ kg}$ Kohlendioxid enthalten. Geht man davon aus, dass das Deponiegas wesentlich durch den Abbau organischer Abfälle von Papier etc. gebildet wird, so kann zumindest das entstehende Kohlendioxid als aufkommensneutral betrachtet werden, da es aus Stoffen stammt, bei deren Bildung Kohlendioxid aus der Luft eingelagert wurde. In der folgenden Berechnung wird der Kohlendioxidanteil als aufkommensneutral betrachtet und nicht mitgerechnet.

Der Heizwert des Deponiegases wird in der folgenden Berechnung mit $5,5 \text{ kWh/Nm}^3$ ($= 19,8 \text{ MJ/Nm}^3$) angesetzt (vergl. Pkt. 3.3).

7.1.2 Direktemission von Deponiegas

Bei einer direkten Emission von Deponiegas wird pro Nm^3 Deponiegas $0,396 \text{ kg}$ Methan und $0,89 \text{ kg}$ CO_2 freigesetzt. Die Umrechnung des Methan in Kohlendioxidäquivalente erfolgt entsprechend der IPCC-Richtlinie mit dem Faktor 21. Betrachtet man den Kohlendioxidanteil als neutral, so entspricht 1 m^3 Deponiegas $8,3 \text{ kg}$ CO_2 -Äquivalenten.

Ferner muss man davon ausgehen, dass der Kohlenstoff im Methan ($12/16$ von $0,396 \text{ kg/Nm}^3 = 0,297 \text{ kg C/Nm}^3$) bei einem aeroben Abbau der organischen Substanz in CO_2 umgesetzt worden wäre. Da vorausgesetzt wird, dass ein aerober Abbau der organischen Substanz als aufkommensneutral anzusehen ist, weil bei ihrer Synthese gleich viel

Kohlenstoff bzw. Kohlendioxid der Atmosphäre entzogen wurde, ist eine Kohlendioxidemission entsprechend $0,297 \text{ kg C/Nm}^3$ von den oberen errechneten $8,3 \text{ kg CO}_2$ -Äquivalenten abzuziehen. Dies sind rund $(44:12) \cdot 0,297 = 1,1 \text{ kg CO}_2$ Äquivalente.

Bei direkter Deponiegasemission werden daher $8,3 - 1,1 = 7,2 \text{ kg CO}_2$ -Äquivalente pro Nm^3 Deponiegas freigesetzt.

7.1.3 Abfackelung des erfassten Gases

Beim Verbrennen des Deponiegases werden 1 kg Methan in $2,75 \text{ kg CO}_2$ umgesetzt. Das im Deponiegas enthaltene Kohlendioxid passiert die Verbrennung unverändert. Dementsprechend emittiert ein 1 m^3 Deponiegas, das in einer Fackel verbrannt wird, $0,396 \times 2,75 = 1,09 \text{ kg CO}_2$ aus der Verbrennung des Methans.

Da man davon ausgehen kann, dass das Methan im Deponiegas durch die Umwandlung von leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen, wie z. B. Vegetabilien, entstanden ist, bei deren Aufbau Kohlendioxid aus der Luft entnommen wurde, kann das bei der Methanverbrennung entstehende Kohlendioxid als aufkommensneutral angesehen werden. Bei einer Abfackelung des Gases wird daher keine klimarelevante Emission angesetzt.

7.1.4 Thermische Nutzung des erfassten Gases

Bei einer thermischen Nutzung des Gases wird davon ausgegangen, dass durch die Gasnutzung fossiler Brennstoff (Heizöl-leicht, $11,7 \text{ kWh/kg} = 42,1 \text{ MJ/kg}$) substituiert wird. Dabei wird weiters davon ausgegangen, dass die Wirkungsgrade der Kessel zur Verfeuerung von Deponiegas und zur Verfeuerung des Heizöls gleich sind.

Bei einem Heizwert des Deponiegases von $5,5 \text{ kWh/m}^3$ wird durch die Verfeuerung von 1 m^3 Gas ca. $0,47 \text{ kg}$ Heizöl ersetzt. Bei der Verbrennung von 1 kg Heizöl entstehen ca. $3,2 \text{ kg CO}_2$, sodass bei der Verbrennung von $0,47 \text{ kg}$ Heizöl ca. $1,5 \text{ kg CO}_2$ freigesetzt werden. Das bei der Gasverbrennung entstehende Kohlendioxid wird wie in Pkt. 7.1.3 als aufkommensneutral angesehen.

Eine thermische Nutzung von Deponiegas für eine Nahwärmeversorgung kann aber wegen der Wärmeabnahme nur in der Heizperiode und nicht ganzjährig erfolgen.

Zur Berechnung der mittleren Emission einer thermischen Nutzung wird von einem gewichteten Mittelwert zwischen thermischer Nutzung und Abfackelung ausgegangen, wobei die Dauer der Heizperiode mit 7 Monaten angesetzt wird.

Durch die thermische Nutzung des Deponiegases wird folgende Emission fossiler Brennstoffe substituiert:

$$7/12 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$$

7.1.5 Nutzung des Deponiegases in Gasmotoren mit Abwärmenutzung

Bei drei Anlagen in OÖ wird das Deponiegas in den Gasmotoren auf benachbarten Kläranlagen genutzt. Jede Kläranlage weist einen nahezu kontinuierlichen Stromverbrauch auf. Zur Beheizung der Faulräume dieser Anlagen wird weiters das ganze Jahr über Wärme auf relativ niedrigem Niveau benötigt. In den Sommermonaten ist aber teilweise das Wärmeangebot größer als der Bedarf, sodass die Wärmenutzung nur über zwei Drittel des Jahres bzw. zu 67 % angesetzt wird.

Ein Gasmotor wie er auf einer Kläranlage eingesetzt wird, verfügt über einen Gesamtwirkungsgrad von ca. 90 %, wobei der elektrische Wirkungsgrad ca. 30-35 % und der thermische Wirkungsgrad 55-60 % additiv dazu beträgt. Im Mittel wird mit 32 % elektrischem Wirkungsgrad und 58 % thermischem Wirkungsgrad gerechnet. Bei einem Energieinhalt des Deponiegases von $5,5 \text{ kWh/Nm}^3$ ($= 19,8 \text{ MJ/Nm}^3$) beträgt die elektrische Energieproduktion $5,5 \times 0,32 = 1,76 \text{ kWh}$

Entsprechend den oben abgeschätzten Wirkungsgrad und Auslastung werden $5,5 \times 0,58 \times 0,67 = 2,14 \text{ kWh}$ thermische Energie gewonnen.

Bei einem elektrischen Wirkungsgrad eines kalorischen Kraftwerkes von 40-45 %, im Mittel 42 %, und dem Einsatz von Heizöl-schwer ($H = 11,0 \text{ kWh/kg} = 39,6 \text{ MJ/kg}$) würde für die Erzeugung von 1,76 kWh elektrischen Strom ca. 0,38 kg Heizöl benötigt. Bei der Verfeuerung dieses Brennstoffes werden ca. 1,2 kg CO_2 freigesetzt.

Würden die 2,14 kWh nutzbare Wärme durch Verfeuerung von Heizöl auf der Kläranlage in einem Kessel mit einem thermischen Wirkungsgrad von 80 % erzeugt, würden dafür 0,23 kg Heizöl benötigt. Bei der Verbrennung dieses Brennstoffes würden ca. 0,75 kg CO_2 freigesetzt. Zusammen werden durch die Nutzung von 1 m^3 Deponiegas in einem Gasmotor mit Stromerzeugung mit Wärmenutzung ca. $1,2 + 0,75 = 1,95 \text{ kg CO}_2$ aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe substituiert.

7.1.6 Zusammenfassung und Übersicht

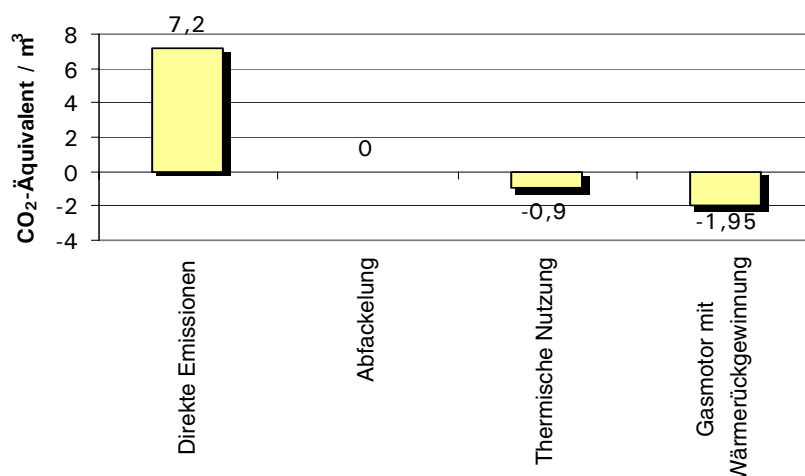
In der folgenden **Tabelle 11** sind die Emissionen der unterschiedlichen Erfassungs- und Verwertungswege für Deponiegas entsprechend den Punkten 7.1.2-7.1.5 zusammengestellt.

Tabelle 11 – Emissionen in kg CO₂-Äquivalente pro m³ Deponiegas

Direkte Emission	7,2	100%
Abfackelung	0	0%
Thermische Nutzung	-0,9	-12,5 %
Nutzung in Gasmotor mit Wärmerückgewinnung	-1,95	-27,1 %

Abbildung 14

CO₂-Äquivalente bei Emissionen der Deponiegaserfassung und -verwertung



Es zeigt sich, dass der wesentliche Schritt zur Reduktion der klimarelevanten Emission in der Erfassung und Umsetzung des Methans aus der Deponie in CO₂ besteht. Die Nutzung des Deponiegases zu Heizzwecken bzw. zur Stromerzeugung setzt die Emission durch die Substitution fossiler Energieträger nochmals herab, wobei die absolute Verbesserung gegenüber der Abfackelung (kg CO₂-Äquivalente/m³ Deponiegas) aber deutlich geringer sind als der Sprung von der direkten Emission zur Abfackelung. Daraus lässt sich ableiten, dass vor allem eine möglichst gute Erfassung anzustreben ist.

7.2 Emissionen der Deponien im Jahr 2000

7.2.1 Emission der Deponien mit Gaserfassung

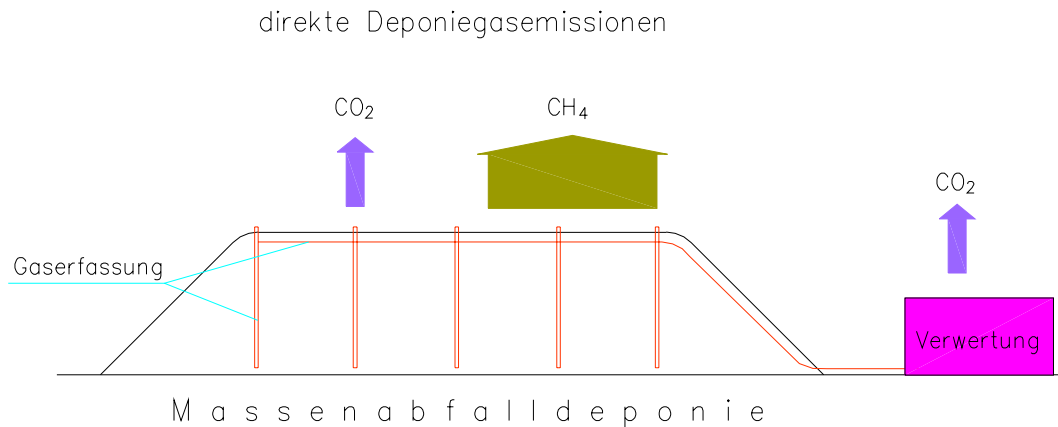
Da auf allen Deponien mit Gaserfassung technisch nur ein Teil des produzierten Deponiegases erfasst werden kann, kommt es weiterhin zu direkten Emissionen von Deponiegas (0,396 kg Methan/Nm³, 0,89 kg Kohlendioxid/Nm³). Der erfasste Methananteil wird entweder in einer Fackel, in einem Kessel oder in einem Gasmotor zu Kohlendioxid und Wasser umgesetzt. Der Kohlendioxidanteil im Deponiegas passiert die Verwertung unverändert. Wie in Pkt. 7.1 dargelegt, wird bei einer thermischen Nutzung oder bei einer Nutzung in einem Gasmotor mit Abwärmenutzung fossiler Brennstoff substituiert.

Die Berechnung der Emissionen erfolgte getrennt für jede Deponie, wobei von der rechnerischen Gasproduktion zunächst die erfasste Gasmenge abgezogen wurde. Für die verbleibende Menge wird ein Abminderungsfaktor entsprechend Pkt. 6.5 angesetzt. So wurde die emittierte Deponiegasmenge ermittelt und in Methan und Kohlendioxid aufgeteilt.

Die Emissionen der Deponiegasnutzung bzw. Verbrennung wurden mit den in Pkt. 7.1 ermittelten spezifischen Emissionswerten (kg CO₂-Äquivalente/Nm³ Deponiegas) errechnet. Die Berechnung ist in der folgenden **Tabelle 12** wiedergegeben.

Tabelle 12 - Emissionen der in Betrieb befindlichen Deponien mit Gaserfassung für das Jahr 2000

Deponie	rechn Gasprod. [Nm ³ /h]	erfasste Gasmenge [Nm ³ /h]	Gasverwertung	nicht erfasste Gasmenge [Nm ³ /h]	Abminderungs-faktor gem. Pkt. 6.5	Direkte Emission			Emission der Gasverwertung		Gesamtemissionen CO ₂ -Äqu. [kg/h]
						Deponiegas [Nm ³ /h]	Methan [kg/h]	CO ₂ -Äqu. [kg/h]	[kg/h]	[kg/h]	
Asten-Klärschlamm	1.435	629	Gasmotor+therm.	806	0,95	766	303	5.515	-1.572	0	3.943
Braunau komm.	86	8	Fackel	78	0,85	66	26	475	0	16	475
Laakirchen	232	12	Fackel	220	0,85	187	74	1.346	0	24	1.346
St. Martin	114	35	Fackel	79	0,85	67	27	482	0	70	482
Ort	319	40	thermisch	279	0,85	237	94	1.706	-36	44	1.670
Redlham	1.089	240	Gasmotor+therm.	849	0,70	594	235	4.277	-468	0	3.809
Steyr	256	33	Gasmotor+therm.	223	0,85	190	75	1.368	-64	0	1.304
Traun-Ansfelden	116	1	Fackel	115	0,85	98	39	706	0	2	706
Σ	3.647	998		2.649		2.205	873	15.875	-2.140	156	13.735

Abbildung 15**Prinzipskizze der Deponiegasemissionen einer Massenabfalldepone mit Gasverwertung**

Die direkten Emissionen der oberösterreichischen Deponien mit aktiver Entgasung lassen sich daher im Jahr 2000 mit 13.735 kg CO₂-Äquivalente/h = ca. 120.000 t-CO₂-Äquivalente/a abschätzen, wenn das im Deponiegas enthaltene CO₂ als aufkommensneutral betrachtet wird.

Die Emissionen der Verwertungsanlagen einschließlich der Fackeln machen ohne den CO₂-Anteil –2.140 kg CO₂-Äquivalente/h bzw. ca. –19.000 t CO₂-Äquivalente/a aus.

7.2.2 Emissionen der in Betrieb befindlichen Deponien ohne Entgasung

Derzeit werden in OÖ drei Deponien betrieben bzw. während der Erstellung der Studie gerade abgeschlossen, die über keine Entgasung verfügen. Es sind dies die Deponien Asten-Klärschlamm, Hehenberg und Wels. Auf keiner dieser Deponien wird Material mit einer Gasentwicklung, vergleichbar mit Hausmüll, abgelagert. Da in Asten praktisch noch keine Abdeckung erfolgte, wird hier auch keine Reduktion der Gasproduktion angesetzt. Bei den anderen beiden Deponien ist die Abdeckung entweder fertiggestellt (Hehenberg) bzw. für jene Bereiche, in denen reaktionsfähige Abfälle abgelagert wurden, abgeschlossen (Wels).

Die Berechnung der Emissionen erfolgt auf Basis der rechnerischen Gasproduktion, reduziert um den Abbau in der Deckschicht. Die Berechnung ist in der folgenden **Tabelle 13** wiedergegeben.

Tabelle 13 – Emissionen der in Betrieb befindlichen Deponien ohne Entgasung

Deponie	rechn. Gasproduktion [Nm ³ /h]	Abminderungsfaktor	Deponiegasemission [Nm ³ /h]	Methan [kg/h]	CO ₂ -Äqu. [kg/h]
Asten-Klärschlamm	2	-	2	1	14
Hehenberg	79	0,8	63	25	454
Wels	152	0,8	122	48	878
Σ	233		187	74	1.346

Von den in Betrieb befindlichen oberösterreichischen Deponien ohne aktive Entgasung lassen sich in der Summe Emissionen von 1.346 kg CO₂-Äquivalente/h = ca. 11.800 t CO₂-Äquivalente/a abschätzen.

7.2.3 Emissionen der nicht mehr in Betrieb befindlichen Deponien

Bei den nicht mehr in Betrieb befindlichen Deponien wurde gleich vorgegangen wie bei den in Betrieb befindlichen Deponien ohne Entgasung. Der Abänderungsfaktor für die Abdeckung wurde dabei überschlägig in Pkt. 6.5 mit 0,75 geschätzt.

Es wurden die beiden Deponien in Braunau (AMAG, ÖBK) einzeln betrachtet, von den übrigen Deponien wurde die Summe der Berechnung zugrunde gelegt. Die Berechnung ist in der folgenden Tabelle 14 wiedergegeben. Die Abschätzung der Emissionen aus nicht mehr in Betrieb befindlichen Deponien führt zu 3.996 kg/h CO₂-Äquivalente = 35.000 t CO₂-Äquivalente/a.

Tabelle 14 – Emissionen der nicht mehr in Betrieb befindlichen Deponien im Jahr 2000

Deponie	rechn. Gasprod. [N/m ³ /h]	Reduktion i.d. Deckschichte	Deponiegasemission [Nm ³ /h]	Methan [kg/h]	CO ₂ -Äqu. [kg/h]
Braunau-AMAG	12	0,75	9	4	65
Braunau ÖBK	3	0,75	2	1	14
Sonstige	725	0,75	544	215	3.917
Σ	740		555	220	3.996

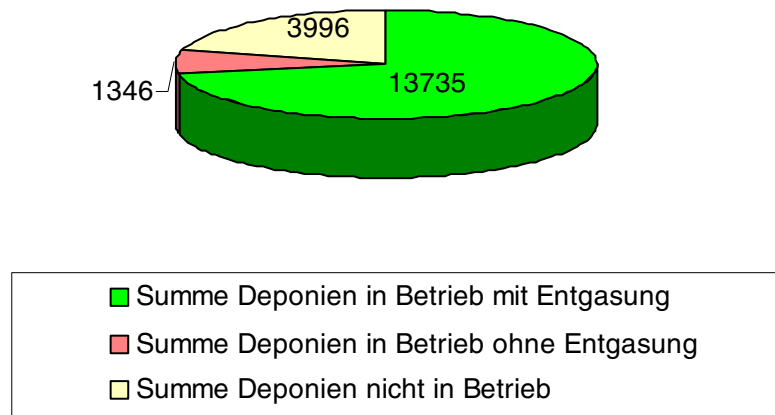
7.2.4 Gesamtemissionen im Jahr 2000

Die in den Punkten 7.2.1-7.2.3 angegebenen Emissionen sind in der folgenden **Tabelle 15** aufaddiert. Bei den Deponien mit Gaserfassung sind die direkten Emissionen und die Emissionen der Gasverwertung getrennt angegeben. Demnach ergibt die Abschätzung für das Jahr 2000 ca. 1.167 kg Methan/h.

Mit den in Pkt. 7.1 ermittelten Umrechnungsfaktoren für Deponiegas, bei denen ein dem Kohlenstoffanteil entsprechender Wert für Kohlendioxid von den Methanemissionen abgezogen wird, ergibt sich eine Emission der oö. Deponien von 19.077 kg CO₂-Äquivalente/h bzw. 167.000 t CO₂-Äquivalente/a.

Tabelle 15 – Emissionen der Deponien im Jahr 2000 kg/h

	Methan	CO ₂ -Äqu.
In Betrieb befindl. Deponie direkte Emission	873	15.875
Gasverwertung	-	-2.140
Summe		13.735
In Betrieb befindl. Dep. ohne Entgasung	74	1.346
Nicht in Betrieb befindl. Deponien	220	3.996
Σ kg/h	1.167	19.077
Σ t/a	10.200	167.000

Abbildung 16 – Deponiegasemissionen in OÖ im Jahr 2000 [kg CO₂-Äquivalente/h]

7.3 Zukünftige Emissionen der Deponien in Oberösterreich

7.3.1 Prognosezeitpunkte

Im Jahr 2004 tritt die Deponieverordnung in Kraft, sodass ab diesem Jahr wesentliche Änderungen in Menge und Qualität der abgelagerten Abfälle zu erwarten sind.

Das Jahr 2010 stellt die Mitte des Zielzeitraumes des Kyoto-Vertrages (2008-2012) dar und wurde auch in anderen Studien häufig als Prognosezeitpunkt gewählt (z. B. 2. Nationalklimabericht 1997, Studie Klimarelevanz der Abfallwirtschaft).

Aus diesem Grund wurden die Jahre 2004 und 2010 als Prognosezeitpunkte angesetzt.

7.3.2 Gasproduktion

Die Gasproduktion der Deponien und Altlasten wurde in Pkt. 3 für die Jahre 2000, 2004 und 2010 berechnet. Dabei wurde von einem gleichbleibenden Abfallaufkommen ausgegangen. Die Aufteilung der Abfälle erfolgte bis zum Jahr 2004 gleich wie derzeit (2000). Ab dem Jahr 2004 erfolgt die Vorbehandlung und Aufteilung der Abfälle entsprechend der „Grundsatzstudie über die Restabfallentsorgung in OÖ ab dem Jahr 2004“. Für die Aufteilung gilt das Szenario C1, das aufgrund der eingereichten Projekte derzeit als wahrscheinlichste Lösung für OÖ angesehen werden muss.

Die Deponie Hehenberg, die sich derzeit in Schließung befindet, wurde aus Gründen der Konstanz bei den Prognosen für die Jahre 2004 und 2010 in der Kategorie „in Betrieb befindliche Deponien ohne Entgasung“ belassen, wobei aber berücksichtigt wurde, dass keine Abfälle mehr abgelagert werden.

7.3.3 Gaserfassung, Verminderung der Aktivität und Methanabbau in den obersten Bodenschichten

Im Jahr 2000 wurden bei den 8 Deponien mit Entgasung im Mittel 27,4 % der rechnerischen Gasproduktion erfasst. Dieser Prozentsatz wurde für die Jahre 2004 und 2010 übernommen. Auch die Abminderungsfaktoren für reduzierte biologische Aktivität und Methanabbau in der Deckschicht wurden aus der Berechnung für das Jahr 2000 übernommen.

Das heisst, es handelt es sich um eine lineare Hochrechnung der derzeitigen Verhältnisse auf Basis der zukünftigen Gasproduktion der abgelagerten Abfälle. Allfällige Veränderung durch geänderte Gaserfassung oder geänderten Methanabbau in der Deckschicht sind nicht in Rechnung gestellt.

Das im Deponiegas enthaltene Kohlendioxid wurde als aufkommensneutral angesehen und nicht mitgerechnet. Ähnliche Studien [26] gehen ebenfalls von dem Ansatz aus, dass das im Deponiegas enthaltene CO₂ aufkommensneutral ist und daher nicht mitzurechnen ist. Die (negativen) Emissionen der Gasverwertung werden entsprechend der Gaserfassung angesetzt.

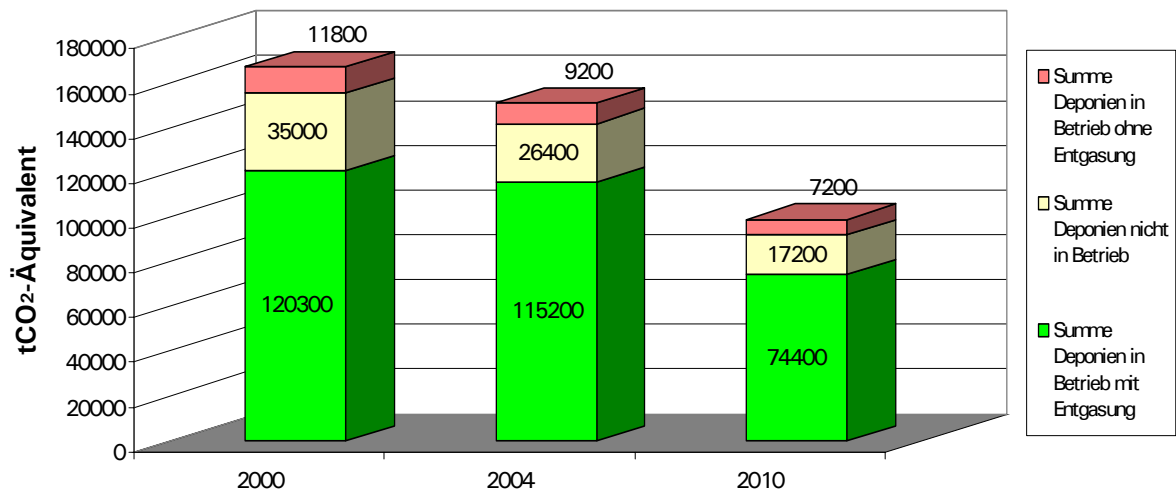
7.3.4 Berechnung der zukünftigen Emissionen in OÖ für 2004 und 2010

In der nachstehenden **Tabelle 16** ist die oben beschriebene Berechnung der Emissionen wiedergegeben.

Tabelle 16 – Zukünftige Emissionen der Deponien ohne Maßnahmen

Jahr	Gas- produk- tion	erfasste Gas- menge	Abmind. faktor	direkte Emission		Emissionen Gaser- fassung	Netto Emissionen	Netto Emissionen
	[Nm ³ /h]	[Nm ³ /h]	[1]	[m ³ /h]	kgCO ₂ -Äqu/h	kgCO ₂ -Äqu/h	kgCO ₂ -Äqu/h	t CO ₂ -Äqu./a
2000	3.647	998	0,83	2.205	15.875	-2.140	13.735	120.300
2004	3.504	959	0,83	2.112	15.206	-2.056	13.150	115.200
2010	2.260	618	0,83	1.363	9.814	-1.325	8.489	74.400
2000	233	0	0,80	187	1.346	0	1.346	11.800
2004	183	0	0,80	146	1.051	0	1.051	9.200
2010	143	0	0,80	114	821	0	821	7.200
2000	740	0	0,75	555	3.996	0	3.996	35.000
2004	557	0	0,75	418	3.010	0	3.010	26.400
2010	364	0	0,75	273	1.966	0	1.966	17.200
2000	4.620	998		2.947	21.217	-2.140	19.077	167.100
2004	4.244	959		2.676	19.267	-2.056	17.211	151.000
2010	2.767	618		1.750	12.601	-1.325	11.276	99.000

Es zeigt sich, dass Emissionen der in Betrieb befindlichen Deponien mit Entgasung bis 2004 nur geringfügig abnehmen. Ursache dafür ist, dass bis 2004 weiterhin reaktionsfähige Abfälle auf den Deponien abgelagert werden.

Abbildung 17 – Derzeitige und zukünftige Deponiegasemissionen in OÖ

Für 2010 ist eine deutliche Abnahme der Emissionen zu erwarten, da 2004 entsprechend der Deponieverordnung keine reaktionsfähigen Substanzen mehr auf Deponien abgelagert werden dürfen. Von den heute in Betrieb befindlichen Deponien werden 2010 rechnerisch etwa 62 % der heutigen Emissionen ausgehen.

Bei den drei derzeit in Betrieb bzw. in Schließung befindlichen Deponien ohne Entgasung ist bis 2004 ein Rückgang der Gasemissionen auf 78 % und bis 2010 auf 61 % des Wertes von 2000 zu erwarten. Der starke Rückgang ist bedingt durch die Schließung der Deponie Hehenberg und dadurch, dass in Wels die Gasproduktion der früher abgelagerten reaktionsfähigen Abfälle stark zurückgeht.

Bei den nicht in Betrieb befindlichen Deponien geht die Emission im Jahr 2004 auf 75 % und im Jahr 2010 auf 49 % des Wertes von 2000 zurück. Ursache dafür ist das zunehmende Alter und damit stark rückgängige Gasproduktion der abgelagerten Abfälle.

Die Gesamtsumme der Emissionen reduziert sich bis ins Jahr 2004 auf 90 % und bis 2010 auf 59 % des Wertes von 2000.

Der Anteil der Emissionen, die von den nicht in Betrieb befindlichen Deponien ausgehen, sinkt von 21 % im Jahr 2000 auf 17-18 % in den Jahren 2004 und 2010. Das bedeutet, dass zukünftig verstärkt der Großteil der Emissionen von den heute in Betrieb befindlichen Deponien mit Entgasung ausgeht. Ihr Anteil steigt von 72 % im Jahr 2000 auf 76 % bzw. 75 % in Jahren 2004 und 2010. Die in Betrieb befindlichen Deponien ohne Entgasung (inkl. Hehenberg) haben einen Anteil von nur 6-7 %, der sich nicht wesentlich ändert.

8 Vergleich der Gasemissionen der Deponien in OÖ mit Gesamtösterreich

8.1 Abfallmengen und Deponien

8.1.1 Derzeitiger Anfall

Die derzeitige Situation wurde dem Bundes-Abfallwirtschaftsplan, Bundes-Abfallbericht 1998 des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie, der im Wesentlichen die Situation für das Jahr 1996 darstellt, entnommen.

In Österreich fielen im Jahr 1996 ca. 1,291.000 t-Restabfälle sowie 221.000 t sperrige Abfälle aus Haushalten an. Bezüglich der Gewerbeabfälle, die auf Deponien gelagert werden, werden in diesem Bericht keine Angaben gemacht.

In OÖ sind im gleichen Jahr 166.000 t-Restabfälle und 28.000 t sperrige Abfälle aus Haushalten sowie ca. 110.000 t-Betriebsabfälle angefallen, die auf Deponien abgelagert wurden, die auch für Hausabfälle und sperrige Abfälle dienen. Das bedeutet, dass in OÖ ca. 13 % der Abfälle aus Haushalten von Österreich angefallen sind.

Bezogen auf eine Bevölkerungszahl von 1996 von 7,98 Mio. für Gesamtösterreich und 1,37 Mio. für Oberösterreich sind dies 162 kg/Einwohner Restmüll und 28 kg/Einwohner Sperrmüll für Gesamtösterreich bzw. 121 kg Restmüll bzw. 20 kg Sperrmüll/Einwohner für Oberösterreich. Das heisst, die spezifischen Abfallmengen liegen in OÖ nur bei ca. 75 % des österreichischen Durchschnittswertes.

8.1.2 Entsorgungswege

In Österreich wurden 1996 ca. 666.000 t (= 52 %) der Restabfälle direkt deponiert. 431.000 t (= 33 %) wurden verbrannt und 194.000 t (= 15 %) über Vorbehandlungsanlagen („mechanisch-biologisch“) geführt. Aus den Verbrennungen fielen ca. 125.000 t Schlacken und Asche und aus den Vorbehandlungsanlagen ca. 145.000 t Reststoffe an, die auf Deponien verbracht wurden. Im gleichen Jahr wurden in OÖ ca. 99.000 t (= 60 %) des Restabfalles direkt deponiert, 33.000 t (= ca. 20 %) wurden verbrannt und 34.000 t (= 20 %) wurden über Vorbehandlungsanlagen geführt. Ca. 9.000 t Aschen und Schlacken und ca. 27.000 t Reststoffe der Vorbehandlungen wurden deponiert.

Das heisst, in OÖ wurden überdurchschnittlich viele Abfälle direkt deponiert bzw. über Vorbehandlungsanlagen geführt. Der Anteil der verbrannten Abfälle ist unterdurchschnittlich. Dazu ist allerdings zu bemerken, dass der hohe Anteil der verbrannten Abfälle für Gesamtösterreich durch die zwei Anlagen in Wien bestimmt wird. In den übrigen Bundesländern ist nur in OÖ die Verbrennungsanlage für WAV in Wels in Betrieb.

8.1.3 Deponien

Im Jahr 1996 waren in Österreich 61 Deponien in Betrieb, von denen 10 in Oberösterreich liegen (Klärschlammdeponie Asten war zu diesem Zeitpunkt noch nicht in Betrieb).

Auf den 61 in Österreich in Betrieb befindlichen Deponien waren zu diesem Zeitpunkt ca. 43 Mio.m³-Abfälle abgelagert, davon ca. 8 Mio.m³ auf oberösterreichischen Deponien.

Nach der Verdachtsflächen- und Altlastenstatistik des Umweltbundesamtes (Stand Jänner 2001) sind derzeit in Gesamtösterreich 4607 Altablagerungen registriert. Davon allein in OÖ 1444. Das heisst, in OÖ sind ca. 31 % der gesamten Altablagerungen in Österreich registriert. In Anbetracht der Bevölkerungsverteilung und der Tatsache, dass nur 19 % der österreichischen Gemeinden in OÖ liegen, erscheint die gesamtösterreichische Zahl von 4607 Ablagerungen relativ gering. Es ist aber bekannt, dass Altablagerungen in OÖ überdurchschnittlich gut erfasst sind.

Setzt man an, dass in Österreich in den Jahren 1970-1996 ca. 42 Mio.t Restabfälle und Sperrabfälle angefallen sind (Hackl-Mauschitz: „Beiträge zum Klimaschutz durch nachhaltige Restmüllbehandlung“) und macht für den ebenfalls angefallenen reaktionsfähigen Gewerbeabfall einen Zuschlag von 30-40 %, so sind in diesem Zeitraum insgesamt ca. 55-60 Mio.t Abfälle angefallen.

Davon wurden etwa 9 Mio.t verbrannt, sodass insgesamt ca. 46-51 Mio.t deponiert wurden.

Auf den heute in Betrieb befindlichen Deponien liegen ca. 43 Mio.m³ Abfälle. Umgerechnet sind dies 40-43 Mio.t. Das heisst, dass 6-8 Mio.t reaktionsfähiger Abfälle auf nicht in Betrieb befindlichen Deponien liegen dürfen.

In OÖ fielen 1970-1999 rund 9,6 Mio.t Abfall an, von denen ca. 7,5 Mio.t auf heute in Betrieb befindliche Deponien liegen. 2,1 Mio.t liegen auf heute nicht in Betrieb befindlichen Deponien. Österreichweit liegen also 11-13 % der Abfälle auf heute nicht mehr in Betrieb befindlichen Deponien, während in OÖ dieser Anteil etwa 20 % betragen dürfte. Von den insgesamt in Österreich abgelagerten Mengen liegen 16-18 % in OÖ.

Im Jahr 1995 verfügten in Österreich 32 von 72 Deponien über eine Entgasung. In OÖ waren es 4 von 10 Deponien [12].

8.2 Emissionen der Deponien

Die Emissionen der österreichischen Deponien sind in der Studie „Beiträge zum Klimaschutz durch nachhaltige Restmüllbehandlung (Klimarelevanz der Abfallwirtschaft II)“ [26], behandelt. In dieser Studie wird die Gasentwicklung des Restmülls und des Sperrmülls berechnet. Für das Jahr 1996 wird eine Emission von $1,362.180 + 69.552 = 1,431.732$ t CO₂-Äquivalente für die Deponien angegeben. Das Gas, das sich aus dem abgelagerten Gewerbemüll entwickelt, ist in diesem Wert nicht enthalten.

Aus der Berechnung der Gasentwicklung der öö. Deponien lässt sich abschätzen, dass ein Zuschlag von ca. 20 % auf den Restmüll und den Sperrmüll aus Haushalten aufzuschlagen ist, um auch die Gasentwicklung des Gewerbemülls zu erfassen. Mit diesem Aufschlag wird abgeschätzt, dass im Jahr 1996 die gesamte Emission der Deponien in Österreich ca. 1,7 Mio.t CO₂-Äquivalente betragen hat.

Seit 1996 hat sich die jährlich abgelagerte Abfallmenge und die Art der Vorbehandlung nicht wesentlich geändert. So wurden 1996 666.000 t direkt abgelagert, 1999 waren es 665.000 t. Auch die Änderung der Mengen, die über Vorbehandlungsanlagen geführt werden, ist gering. Lediglich die verbrannten Mengen haben sich um ca. 60.000 t, dies sind ca. 5 % der Gesamtmenge, erhöht.

Wie die Berechnung für OÖ für die 2000 und 2004 zeigen, ändert sich die Gasproduktion bei gleichbleibender deponierter Menge kaum. Es kann daher angenommen werden, dass die Gasproduktion der österreichischen Deponien sich seit 1996 nicht wesentlich geändert hat.

In der oben zitierten Studie wurde für das Jahr 1996 mit einer mittleren Gaserfassung von 20 % gerechnet. In diesem Wert ist auch der Methanabbau in der Deckschicht enthalten. Das heisst, die Gasproduktion hat ca.

$$1,7 : (1 - 0,2) = 2,1 \text{ Mio.t CO}_2\text{-Äquivalente}$$

betragen.

Seit 1996 wurden viele zusätzliche Gaserfassungssysteme – auch veranlasst durch die Zuschlagsregelungen im ALSAG - errichtet und bestehende Anlagen ausgebaut. Weiters kann angenommen werden, dass durch die größere Betriebserfahrung Gaserfassungsanlagen heute effizienter betrieben werden als 1996. Aus diesem Grund und in Anlehnung an die in OÖ beobachteten Werte wird eine Gaserfassung von 30 % und ein Abbau in der Deckschicht von 10 % für den derzeitigen Zustand angesetzt. Die Gasemissionen für das Jahr 2000 errechnen sich dann zu

$$2,1 \times (1 - 0,3 - 0,1) = \text{ca. } 1,3 \text{ Mio.t CO}_2\text{-Äquivalente}$$

Für OÖ wurden ca. 167.000 t CO₂-Äquivalente ermittelt. Dies sind rund 13 % der gesamtösterreichischen Emissionen. In OÖ sind entsprechend Pkt. 8.1 rund 16-18 % der gesamten österreichischen Abfallmengen abgelagert. Die Prozentsätze der abgelagerten Menge und der Gasproduktion weist eine gute Übereinstimmung auf, obwohl die Berechnungen unabhängig voneinander ausgeführt wurden.

Dieser Prozentsatz stimmt auch gut mit dem OÖ-Anteil an der gesamten österreichischen Bevölkerung von 17 % überein.

9 Vergleich der Emissionen der Deponien mit den Gesamtemissionen klimarelevanter Gase

9.1 Globale Emissionen

9.1.1 Gesamtemissionen

Entsprechend der Literatur [32] stellen sich die wesentlichen antropogenen, klimarelevanten Gasemissionen wie folgt dar:

Tabelle 17 – Globale antropogene, klimarelevante Gasemissionen [t/a]

Kohlendioxid	CO ₂	ca.	25,000.000.000 t/a
Methan	CH ₄		360.000.000 t/a
Lachgas	N ₂ O		7.000.000 t/a

Bewertet man diese Gase mit den GWP-Werten des IPCC für einen Zeithorizont von 100 Jahren von

Tabelle 18 – GWP-Werte der klimarelevanten Gase

Kohlendioxid	CO ₂	1
Methan	CH ₄	21
Lachgas	N ₂ O	310

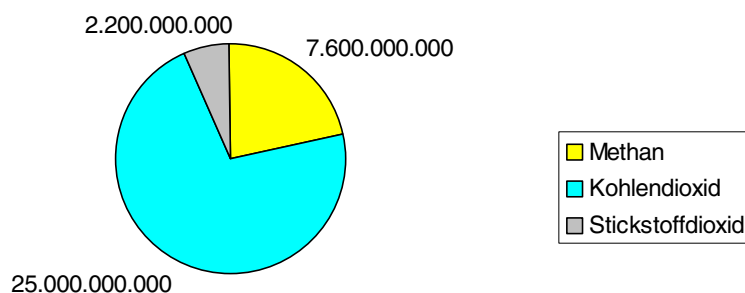
so ergeben sich folgende Beiträge zu den antropogenen Emissionen

Tabelle 19 – Globale Emissionen klimarelevanter Gase [t/a CO₂-Äquivalente]

Kohlendioxid	CO ₂	ca.	25,000.000.000 t/a	72 %
Methan	CH ₄		7.560.000.000 t/a	22 %
Lachgas	N ₂ O		2,170.000.000 t/a	6 %
		ca.	35,000.000.000 t/a	100 %

Abbildung 18 – Anteil der Gase an anthropogenen Emissionen (CO₂-Äquivalente)

Globale anthropogen bedingte Emissionen der drei wichtigsten klimarelevanten Gase [t/a CO₂ Äquivalent]



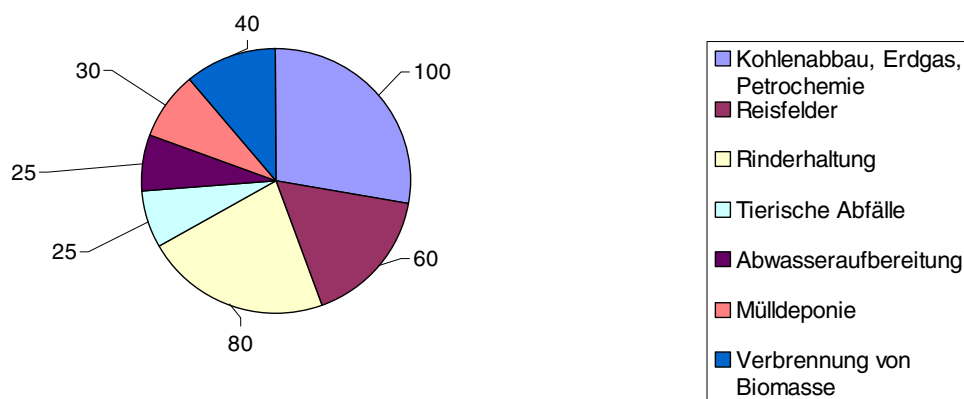
Die Angaben für die Gesamtemissionen schwanken in geringem Umfang je nach Herkunft. Bei den CO₂-Emissionen, die den größten Teil der Emissionen darstellen, sind ca. 93 % bzw. ca. 22,700.000.000 t/a energiebedingt [32].

9.1.2 Methanemissionen

Die Situation in Bezug auf die anthropogenen Methanemissionen stellt sich wie folgt dar [32]:

Tabelle 20 – Globale Methanemissionen [t/a]

Kohleabbau, Erdgas, Petrochemie	100.000.000 t/a
Reisfelder	60.000.000 t/a
Fermentation in Viehmägen	80.000.000 t/a
Tierische Abfälle	25.000.000 t/a
Abwasseraufbereitung	25.000.000 t/a
Mülldeponien	30.000.000 t/a
Verbrennung von Biomasse	40.000.000 t/a
	360.000.000 t/a

Abbildung 19 - Antropogene Methanemission [Mio t/a]

Die Emissionen der Deponien von ca. 30 Mio.t/a Methan machen nach dieser Berechnung ca. 8,3 % der anthropogenen Methanemissionen aus.

Bezogen auf die Gesamtemissionen von ca. 35 Mrd. t CO₂-Äquivalente werden von den Deponien ca. 0,63 Mrd.t CO₂-Äquivalente oder 1,8 % der anthropogenen klimarelevanten Gesamtgasemissionen abgegeben.

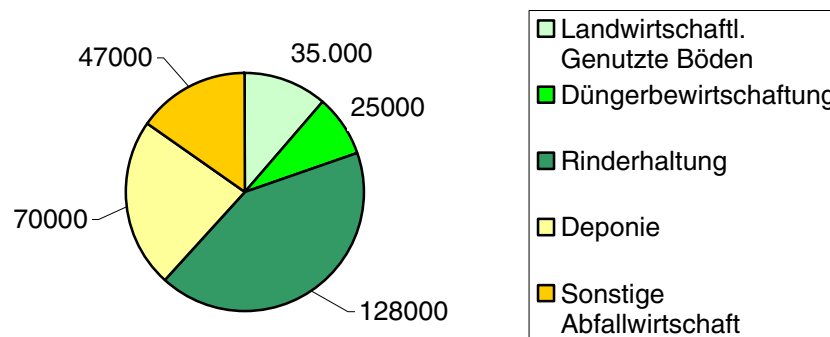
Die natürlichen Methanemissionen liegen mit zusammen ca. 155.000.000 t/a CH₄ deutlich unter den anthropogen bedingten Emissionen und werden durch die Emissionen der Feuchtgebiete (115.000.000 t/a bzw. 74 %) bestimmt.

9.2 Methanemissionen in Österreich und OÖ

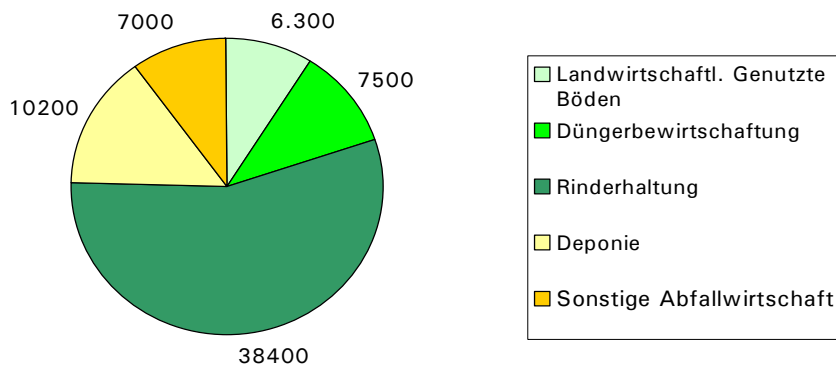
Die Methanemissionen in Österreich werden im Wesentlichen von der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft verursacht. Im Bericht des Umweltbundesamtes „Austria's Annual National Greenhouse Gas Inventory 1990-1999“ wird für 1999 für Österreich eine Gesamtemission von 454.000 t Methan (= 9,5 Mio.t CO₂-Äquivalente) angegeben. Davon entstammen 188.000 t Methan bzw. 41 % der Landwirtschaft und 258.000 t bzw. 55 % der Abfallwirtschaft. Auf die Deponien entfallen entsprechend dieser Veröffentlichung 211.000 t.

Bei den Zahlen für die Abfallwirtschaft ist nach Rücksprache mit dem UBA das Ergebnis der in Pkt. 8.2 zitierten Studie noch nicht berücksichtigt. Entsprechend der Studie und der in Pkt. 8 enthaltenen Abschätzung beträgt die Emission der Deponien in Österreich heute ca. 1,4 Mio.t CO₂-Äquivalente/a bzw. ca. 65.000-70.000 t Methan/a. Setzt man die Emission der Deponien mit 70.000 t Methan/a statt mit 211.000 t/a an, so reduziert sich die Gesamtemission von Methan in Österreich auf 313.000 t/a und der Methanemission der Abfallwirtschaft auf 117.000 t/a. Die Abfallwirtschaft hat dann einen Anteil von 37 %, die Deponien von 22 % an der österreichischen Methanemissionen.

Abbildung 20 - Methanemissionen in Österreich [t/a]



Die Methanemissionen der Landwirtschaft von insgesamt 188.000 t/a setzt sich aus den Emissionen der Rinderhaltung von 128.000 t/a den Emissionen der Düngerbewirtschaftung von ca. 25.000 t/a und den Emissionen der landwirtschaftlich genutzten Böden von ca. 35.000 t/a zusammen. Entsprechend der amtlichen Viehzählung werden ca. 30 % des österreichischen Rinderbestandes in OÖ gehalten. Ca. 18 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen in OÖ. Größenordnungsmäßig kann daher angesetzt werden, dass 30 % der Emissionen der Rinderhaltung und 30 % der Emissionen der Düngerbewirtschaftung und 18 % der Flächenemissionen aus OÖ kommen. Dies sind ca. 53.000 t Methan bzw. 1,11 Mio.t CO₂-Äquivalente/a. Verglichen mit den Emissionen der Deponien in OÖ von ca. 167.000 t CO₂-Äquivalenten/a ist das etwa das 7fache.

Abbildung 21 – Methanemissionen in OÖ [t/a]

9.3 CO₂-Emissionen in Österreich und OÖ

In dem im vorhergehenden Punkt zitierten Bericht des UBA werden die CO₂-Emissionen für Gesamtösterreich für 1999 mit 65,8 Mio.t angegeben. Sie stammen zu 77 % aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe.

Wegen der großen Zahl der emittierenden Gruppen ist eine einfache Schätzung, wie für Methan, für die CO₂-Situation in OÖ nicht möglich. Im oberösterreichischen Klimabericht 1996 der Umweltakademie des Amtes der OÖ. Landesregierung, der allerdings anders aufgebaut ist, als der Nationale Klimabericht und der jährliche Bericht des UBA, werden für 1988 CO₂-Emissionen von 15,1 Mio.t für OÖ angegeben. Für das gleiche Jahr werden im 2. Nationalen Klimabericht für Gesamtösterreich CO₂-Emissionen von 57,02 Mio.t angegeben. Das heisst, dass entsprechend diesen beiden Veröffentlichungen etwa 26,5 % der CO₂-Emissionen von Gesamtösterreich auf OÖ entfallen sind. Diese Zahl erscheint plausibel, da OÖ entsprechend der Energiestatistik 1999 ca. 26 % des österreichischen Verbrauches an fossilen Energieträgern aufweist.

Rechnet man mit dem oben ermittelten Prozentsatz von ca. 26 % und einer Gesamtemission von 65,8 Mio.t, so ergibt sich für 1999 für OÖ eine Emission von 17,4 Mio.t Kohlendioxid.

9.4 Vergleich der Emissionen für Österreich und OÖ

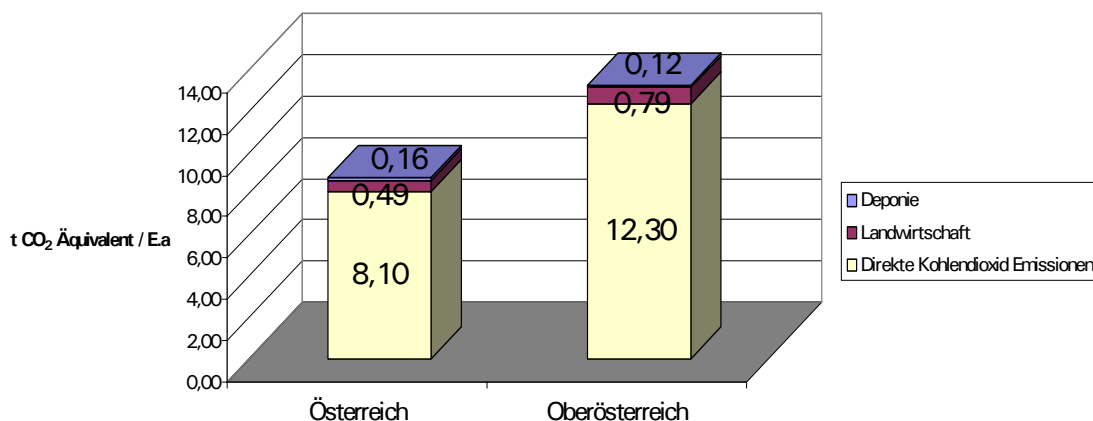
In der folgenden **Tabelle 21** sind die Hauptemissionen in Österreich und OÖ für das Jahr 1999 (2000) dargestellt. Die Methanemissionen sind dabei für die Landwirtschaft und die Deponien getrennt angeführt. Weiters erfolgt eine Umrechnung auf die Einwohner von Österreich und OÖ, wobei für Österreich von 8,11 Mio. Einwohnern und für OÖ von 1,41 Mio. Einwohnern ausgegangen wird.

Tabelle 21 – Emissionen in Österreich und OÖ im Jahr 1999 (2000) Mio.t CO₂-Äquivalente

Emission	Österreich [Mio.t/a]	einwohner- spezifisch [t/Einwohner.a]	OÖ [Mio.t/a]	einwohner- spezifisch [t/Einwohner.a]
CO ₂ -Emissionen gesamt	65,8	8,1	17,4	12,3
Methan gesamt	6,6	0,81	1,49	1,06
Landwirtschaft	3,95	0,49	1,11	0,79
Deponien	1,3	0,16	0,17	0,12

In OÖ leben ca. 17,4 % der österreichischen Bevölkerung. Bedingt durch die überdurchschnittliche Industrialisierung fallen in OÖ überproportional CO₂-Emissionen an. Dies ist an dem spezifischen Wert 12,3 t/Einwohner.a in OÖ und 8,1 t/Einwohner.a für Gesamtösterreich deutlich sichtbar.

Abbildung 22 – Spezifische Emissionen in Österreich und OÖ [t CO₂-Äquivalente/E.a]



Auch die Methanemissionen sind in OÖ, bedingt durch sehr produktive Landwirtschaft, im Verhältnis zu Österreich überdurchschnittlich. In der Landwirtschaft fallen in OÖ 0,79 t CO₂-Äquivalente/Einwohner.a an, während dies für Gesamtösterreich 0,49 t CO₂-Äquivalente/Einwohner.a sind.

Die Emissionen der Deponien in OÖ liegen mit 0,12 t CO₂-Äquivalente/Einwohner.a etwas unter dem österreichischen Durchschnitt von 0,16 t/Einwohner.a.

Bedingt durch die überdurchschnittlichen Kohlendioxid- und Methanemissionen aus Industrie und Landwirtschaft liegt der Anteil der Deponieemissionen mit ca. 1,0 % in OÖ unter dem österreichischen Schnitt von 1,8 %.

10 Reduktionsziel

10.1 Vorgaben

Im 2. Nationalen Klimabericht der Österreichischen Bundesregierung ist für den Bereich Abfall- und Abwasserbehandlung (Pkt. 5.4.1 des Berichtes) für die energetische Nutzung von Deponiegas (Pkt. 5.4.1.1) ein Reduktionspotenzial von 100.000 t CO₂ und 2.000 t CH₄ für den Zeitraum von 1990 bis 2005 für Gesamtösterreich angegeben.

In Pkt. 5.4.1.4 „Energetische Nutzung von Abfällen“ wird keine zahlenmäßige Angabe für das Reduktionspotenzial gemacht.

Für die einzelnen Bundesländer sind keine Angaben vorhanden.

Teilt man Oberösterreich entsprechend dem Abfallaufkommen von 13 % von Gesamtösterreich bzw. der abgelagerten Menge von 16-18 % von Österreich einen Anteil von 15 % des Reduktionspotenzials von Österreich zu, so sind dies 15.000 t/a CO₂ und 300 t/a CH₄.

10.2 Erreichte Reduktionen

In Oberösterreich werden derzeit 998 Nm³/h Deponiegas abgesaugt (siehe Pkt. 4.2). Davon werden 902 Nm³/h in Gasmotoren verwertet (Asten, Redlham, Steyr).

Entsprechend Pkt. 7.1.5 wird bei der Nutzung von 1 Nm³ Deponiegas in einem Gasmotor mit Abwärmenutzung eine Emission von 1,95 kg CO₂ aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe substituiert. Das bedeutet, dass in Oberösterreich durch die Deponiegasnutzung der drei Deponien Asten, Redlham und Steyr eine CO₂-Emission von

$$902 \times 1,95 \times 8.760 = 15.400.000 \text{ kg/a} = 15.000 \text{ t/a}$$

vermieden wird, d. h. dass hier das im Klimabericht der Bundesregierung angesetzte Reduktionspotenzial (bezogen auf OÖ) erreicht wird.

Bei einem Methangehalt des Deponiegases von ca. 0,396 kg/m³ wird eine Methanemission von

$$998 \times 0,39 \times 8.760 = 3.410.000 \text{ kg/a} = 3.410 \text{ t/a}$$

vermieden, d. h. dieses Ziel wurde bereits heute um den Faktor 11 überschritten.

11 Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen der Deponien

11.1 Abgelagertes Material

Die wesentlichste Maßnahme zur Verminderung von zukünftigen Emissionen ist das Vermeiden der Ablagerungen von reaktionsfähigen kohlenstoffhaltigen Abfällen. Da dies bereits in der Deponieverordnung geregelt ist, wird auf diesen Punkt nicht weiter eingegangen.

Die Auswirkungen des Ablagerungsverbotes der Deponieverordnung sind am Rückgang der Gasproduktion der in Betrieb befindlichen Deponien von 2004 auf 2010 von 4.244 Nm³/h auf 2.767 Nm³/h, also um 1.477 Nm³/h bzw. 35 %, zu ersehen.

11.2 Klimarelevante Emissionen

Die wesentlichen klimarelevanten Emissionen einer Deponie bestehen in den direkten Methanemissionen.

Durch eine Verbrennung oder biologische Umwandlung des Methans in CO₂ können die Emissionen von 8,2 kg CO₂-Äquivalente/Nm³ auf 1,1 kg CO₂-Äquivalente/Nm³, also um 87 %, auf rund ein Achtel des ursprünglichen Wertes gesenkt werden. Durch eine Nutzung des Energieinhaltes des Methan kann fossiler Brennstoff substituiert werden (z. B. Gasmotoren mit Abwärmenutzung), wobei dabei aber nur mehr wesentlich geringere Reduktionen von max. etwa 1,95 CO₂-Äquivalente/Nm³ klimarelevanter Emissionen möglich sind. Diesbezüglich wird auf die Tabelle 13 in Pkt. 7.1.6 verwiesen.

Wesentliches Ziel von Maßnahmen muss daher die Umsetzung des Methans zu CO₂ sein. Eine energetische Nutzung des Methans ist zwar vorteilhaft, bringt aber nur wesentlich geringere Reduktionen der Emissionen klimarelevanter Gase als die Umsetzung zu CO₂.

11.3 Emissionsquellen

11.3.1 Art der Deponien

In Pkt. 7 (Tabelle 16) wird errechnet, dass die wesentlichen Emissionen in OÖ von jenen Deponien ausgehen, die derzeit noch in Betrieb sind. Dies sind derzeit 120.000 t CO₂-Äquivalente/a bzw. ca. 72 % der klimarelevanten Emissionen der Deponien und zukünftig steigt der Anteil dieser Deponien bei gleichbleibendem Prozentsatz der Gaserfassung und des Abbaues in den Deckschichten auf ca. 75-76 % in den Jahren 2004 und 2010 an, obwohl die absoluten Emissionen auf 115.000 t CO₂-Äquivalente bzw. 74.000 CO₂-Äquivalente zurückgehen.

Die zahlreichen, heute abgeschlossenen kleineren Deponien sind also heute bereits weniger bedeutend und ihre Bedeutung sinkt noch ab. Wesentlich sind jene acht Deponien, auf denen Hausmüll bzw. Restabfall aus Haushalten und anderer reaktionsfähiger Abfall gelagert ist.

11.3.2 Größe der Deponie

Bei einem überblicksmäßigen Vergleich der Erfassungsdaten des Gases zeigt sich, dass im Allgemeinen auf großen Deponien die Erfassungsraten höher als auf kleinen Deponien sind. Wesentliche Ursache dafür dürfte das wesentlich günstigere Verhältnis von Volumen zu Oberfläche der großen Deponien sein. Weiters können bei großen Deponien die Gaserfassungen auch wesentlich besser und kontinuierlicher geregelt werden als auf kleineren Deponien. Beispielsweise kann in manchen Fällen die Entgasung, nur diskontinuierlich betrieben werden kann, da die Gasmenge für einen kontinuierlichen Betrieb nicht ausreicht. Dieser Zusammenhang gilt aber nicht streng. So hat z. B. die Deponie Zellinger in Walding einen sehr guten Gaserfassungsprozentsatz, der wesentlich auf gute Betriebsführung (frühe Absaugung, kleine offene Flächen) zurückzuführen ist.

11.3.3 Ort der Emissionen

Bezüglich des Ortes der Emissionen muss im Wesentlichen auf die in Pkt. 5 beschriebenen Messungen zurückgegriffen werden. Speziell bei den Messungen in Asten zeigte sich, dass bei fertiggestellten Abdeckungen die Emissionen an wenigen Bereichen konzentriert auftreten. Hier sind fehlerhafte Aufbringungen, Schäden oder ungeeignete Abdeckmaterialien zu vermuten. Die belebte Bodenschicht ist hier nicht im Stande, einen Methanabbau durchzuführen, da die Konzentration des Methans zu hoch ist und die Aufenthaltszeiten zu gering sind. Etwa zwei Drittel der Fläche mit starken Emissionen weisen Vegetationsschäden oder Vegetationsstörungen auf.

Die Wirksamkeit von Zwischenabdeckungen für den biologischen Abbau von Methangas wäre noch außerhalb dieser Studie zu verifizieren.

In Redlham traten die wesentlichen Emissionen auf einer mit inertem Material (Schlacke) zwischenabgedeckten, ca. ein Jahr alten Schüttung auf. Weiters wurden starke Emissionen am Rand offener Schüttbereiche gemessen. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass frisch abgelagerter Abfall sehr rasch zu kräftiger Gasentwicklung neigt.

11.3.4 Zeitverzögerung

Eine Zeitverzögerung bis zum Beginn der Methanproduktion wie sie bei den Rechenmodellen nach Ehrig angesetzt wird, dürfte, wenn überhaupt, nur in geringem Umfang bestehen. Für die Gesamtgasproduktion einer Deponie spielt diese Verzögerungszeit praktisch aber keine Rolle, wie in der Berechnung in Pkt. 6.3.1 dargelegt wird. Ursache dafür ist, dass das Gesamtpotenzial der organisch abbaubaren Substanzen konstant ist und nur rechnerisch die Methanentwicklung zu unterschiedlichen Zeitpunkten einsetzt.

11.4 Ansätze zur Emissionsminderung

11.4.1 Deponien, auf denen Maßnahmen zur Minderung der Methanemissionen erfolgversprechend sind

Da der Rückgang bei den alten Ablagerungen stärker ist als bei den in Betrieb befindlichen Deponien, sind Maßnahmen bei diesen Deponien zu setzen. Dies betrifft im Wesentlichen jene acht in Betrieb befindlichen, aktiven Deponien, auf denen auch eine Entgasung eingerichtet ist.

Weiters zeigt sich, dass kleine Deponien im Regelfall einen schlechteren Prozentansatz der Gaserfassung aufweisen, als größere Deponien, wobei diese Zuordnung aber nicht streng gilt. Wie die Erfahrung zeigt, können kleine gut geführte Deponien hohe Erfassungsraten erreichen. Generell wäre es aber sinnvoll, Abfälle, die Gas bilden, bevorzugt auf großen Deponien abzulagern.

Es ist aber in Betracht zu ziehen, dass ein Ablagern nur auf großen Deponien teilweise zu erheblichen Transportleistungen und damit zu erhöhten klimarelevanten Emissionen des Verkehrs führt, was die Effektivität dieser Maßnahme reduzieren würde. Kurzfristig, bis zum Inkrafttreten des Ablagerungsverbotes entsprechend der Deponieverordnung am 01.01.2004 sind wahrscheinlich keine derartigen Maßnahmen zur Lenkung von Abfallströmen zu bestimmten Deponien realisierbar. Ab diesem Datum sollte aber getrachtet werden, gasbildende Abfälle, auch wenn sie nur geringfügig gasbildend sind, möglichst auf größeren Deponien mit guten Gaserfassungsraten abzulagern und möglichst wenig zusätzliche Transporte, die wiederum klimarelevant sind, durchzuführen. Zur Klimarelevanz der Transporte ist noch anzugeben, dass bei einem Transport mit Lkw bei einem Verbrauch von überschlägig etwa 0,01-0,015-Liter-Diesel-Kraftstoff/t.km eine Emission von etwa 0,03-0,05 kg CO₂/t.km auftritt.

Kosten für diese Lenkungsmaßnahmen zur Beeinflussung von Abfallströmen können nicht angegeben werden. Es ist aber nicht zu erwarten, dass durch diese Maßnahme wesentliche, volkswirtschaftliche Kosten entstehen.

11.4.2 Abdeckung

Bei den Messungen zeigte sich, dass Emissionen vor allem bei einzelnen, schlecht abgedeckten Bereichen und in Bereichen frischer Schüttungen auftreten. Aus diesem Grund erscheint es unmittelbar sinnvoll, die Deponieabdeckungen aller in Betrieb befindlichen Deponien zu überprüfen. Da in ca. zwei Drittel der Fälle Stellen mit hohen Emissionen auf der Deponieoberfläche mit Vegetationsschäden oder Ausfällen übereinstimmen, ist als erster Schritt eine optische Inspektion der Deponieoberfläche sinnvoll. Als zweiter Schritt kann eine Begehung mit einem Gasspürgerät erfolgen.

An Stellen mit schlechten oder schadhafte Abdeckungen sind entsprechende Ausbesserungsarbeiten, wie z. B. Aufbringen von Kompostfilter oder Aufbringen einer dichten Schicht, vorzunehmen.

Nach Sanierung der Abdeckung ist das Gaserfassungssystem so einzustellen, dass die zusätzliche Methanmenge abgesaugt wird.

Die Kosten für eine Begehung mit einem Gasspürgerät (z. B. FID-Gerät) liegen je nach Größe der Deponie in einer Größenordnung von öS 30.000-100.000,- = ca. 2.000-7.000 €. Eine Kostenangabe für die Ausbesserungsarbeiten ist erst nach den Begehungen möglich.

11.4.3 Emissionen frischer Schüttungen

Bei den Messungen in Redlham zeigten sich überdurchschnittliche Emissionen im Bereich frischer Schüttungen. Auch andere Beobachtungen, wie z. B. Schwefelwasserstoffgeruch in frischen Schüttbereichen oder Verfälschungen von Methanmessungen bei Luftströmungen aus Schüttbereichen, lassen darauf schließen, dass die Methanentwicklung schon während der Schüttung einsetzt und sehr früh relativ stark ist.

Aus diesem Grund sollte die Gaserfassung früh einsetzen.

11.4.3.1 Horizontale Gaserfassung

Eine Gaserfassung in offenen Schüttbereichen ist so vorzusehen, dass der Deponiebetrieb möglichst wenig behindert wird. Es bietet sich hier beispielsweise eine in der Mitte eines 5 m hohen Schüttabschnittes verlegte, horizontale Gaserfassung an. Da das in der Schüttung früh erfasste Gas möglicherweise nicht in der Gasverwertung (z. B. Gasmotoren) eingesetzt werden kann, ist gegebenenfalls eine geordnete Behandlung für dieses Gas vorzusehen (siehe Vorschläge Pkt. 11.4.5).

Grundsätzlich ist diese Problematik nur bis zum Inkrafttreten des Ablagerungsverbot der Deponieverordnung am 01.01.2004 gegeben.

Die Kosten für ein derartiges System inklusive Sammelstation, Absauggebläse, Schlechtgasbehandlung (Biofilter) und Steuerung liegen in einer Größenordnung von öS 200,-/m² = ca. 15,00 €/m², d. h. bei einer offenen Schüttfläche von z. B. 10.000 m² ist mit Kosten von ca. 2,0 Mio.S = ca. 0,15 Mio.€ zu rechnen.

11.4.3.2 Methanoxidationsschicht

Eine Abdeckung frischer Schüttabschnitte mit einem biologisch aktiven Material, in dem eine Methanoxidation stattfindet, ist ebenfalls möglich. Bei einer Schüttstärke des Abfalles von 5 m und einer Gasproduktion von max. 10 m³/t.a, entsprechend dem Ansatz nach Ehrig, werden ohne Gaserfassung ca. 50 m³/m².a bzw. 6 l/m².h emittiert. Dies sind ca. 4 g CH₄/m².h. In der belebten Bodenschicht werden entsprechend Pkt. 6.2.2 in natürlichen Böden 2-6 g Methan/m².h und in Komposten mit hohem organischem Anteil 14-18 g Methan/m² oxidiert. Eine Zwischenabdeckung mit hohem organischem Anteil ist von der Flächenbelastung her als Methanoxidationsschicht bei einer Müllschütthöhe von 5 m geeignet.

Die Schichtstärke einer Methanoxidationsschicht soll ca. 80 cm bis 1 m betragen. Materialien mit hohem organischen Anteil weisen meist ungünstige mechanische Eigenschaften auf. Bei einem späteren, direkten Befahren einer derartigen Schicht mit Lieferfahrzeugen, um den Schüttnbetrieb fortzusetzen, sind daher Betriebsprobleme zu erwarten. Das Aufbringen einer zusätzlichen befahrbaren Schicht verursacht im Allgemeinen zusätzliche Kosten für die Beschaffung und Einbau des Materials und einen Verlust von Deponievolumen. Falls Material mit günstigen mechanischen Eigenschaften für eine befahrbare Schicht, das ebenfalls deponiert werden soll (z. B. Baurestmassen), zur Verfügung steht, liegen die Verhältnisse günstiger. Die befahrbare Schicht wäre dann unmittelbar vor dem Fortsetzen des Schüttnbetriebes aufzubringen.

Im Böschungsbereich ist der Einsatz einer Methanoxidationsschicht wegen der ungünstigen mechanischen Eigenschaften des Materials kaum durchführbar, wenn es sich dabei um Müllkompost handelt, außer wenn die Böschungen sehr flach sind (flacher als 1:3 bis 1:5 je nach Materialeigenschaften).

Bei Erreichen der endgültigen Schütthöhe des Deponiekörpers ist das Aufbringen einer Zwischenabdeckung mit Methanoxidationsschichten bis zum Abklingen der größeren Setzung und dem Aufbringen der Endabdeckung sinnvoll.

Die Kosten für eine derartige Oxidationsschicht inkl. einer darunter liegenden Ausgleichsschicht aus Feinmüll und Bodenaushub werden überschlägig auf öS 200-300,-/m² geschätzt.

Es erscheint sehr fraglich, ob auf eine derartige Oxidationsschicht später eine Abdeckung nach Deponieverordnung mit Gasdrainageschicht, mineralischer Dichtschicht usw. aufgebracht werden kann. Falls die Oxidationsschicht entfernt werden muss, ist mit zusätzlichen Kosten von öS 100-200,-/m² = ca. 7-15,00 €/m² zu rechnen. Diese Kosten sind aber weitgehend abhängig von der Verwertungsmöglichkeit der Oxidationsschicht.

Derzeit sprechen die Bestimmungen der Deponieverordnung gegen eine Verwendung als endgültige Abdeckung.

11.4.4 Zeitlicher Verlauf der Emissionen

Bei den Messungen auf der Deponie Redlham wurden signifikant geringere Gasmengen beobachtet, als aufgrund der Menge, der Qualität und des Alters der Ablagerungen zu erwarten waren. Als Ursache wurde ein Austrocknen (Mumifizierung) des Abfalles vermutet (siehe Pkt. 6).

Ein derartiger Vorgang bedeutet die Verlangsamung der Gasproduktion und damit eine Verlagerung des Gasanfalles in die Zukunft. Eine Verminderung der insgesamt aus der Umsetzung des organischen Kohlenstoffes anfallenden Methanmenge ist nicht wahrscheinlich. Es ist zu erwarten, dass die Erfassung geringer Gasmengen über einen längeren Zeitraum schwieriger ist als die Erfassung von größeren Gasmengen in einem kürzeren Zeitraum. Der Grund dafür ist, dass die Funktionssicherheit und die Verfügbarkeit der Gasfassungseinrichtungen und Verwertungseinrichtungen ebenso wie andere Deponieeinrichtungen mit zunehmendem Alter abnimmt. Ferner widerspricht ein Verlagern der Emissionen in die Zukunft dem im AWG festgeschriebenen Vorsorgeprinzip.

Aus den oben angeführten Gründen ist bei den Deponien, auf denen Restabfälle und andere beim Abbau Methan entwickelnde Abfälle abgelagert werden, auf eine ausreichende Wasserversorgung zu achten. Dies kann z.B. durch ein Verrieseln von Sickerwasser, wenn die Minimierung der Sickerwassermenge wichtig ist, erreicht werden. Hier sind Aufkonzentrationerscheinungen, z. B. von Salzen oder Schwermetallen, zu beachten. Die ausreichende Wasserversorgung kann durch eine beschränkt wasserdurchlässige Deponieabdeckung und eine zusätzliche Methanoxidationsschicht erfolgen.

Bezüglich der Kosten einer wasserdurchlässigen Oxidationsschicht wird auf den vorhergehenden Punkt verwiesen. Die Kosten für eine Sickerwasserverrieselung liegen in einer Größenordnung von $\text{öS } 50-100,-/\text{m}^2 = 3-7,00 \text{ €/m}^2$.

11.4.5 Gasbehandlung bei geringen Methangehalten

Neben dem direkt verwertbaren oder abfackelbaren Deponiegas ist vor allem zukünftig, wenn keine abbaubaren Abfälle mehr abgelagert werden, mit dem Anfall von nicht verwertbarem und kaum brennbarem Deponiegas zu rechnen. Deponiegas mit einem Methangehalt von wenigstens ca. 40 Vol.-% ist in Gasmotoren nutzbar. Eine Verbrennung in einer Fackel kann bei Methangehalten von mehr als 25-27 Vol.-% erfolgen. Deponiegas mit noch geringerem Methangehalt muss auf anderem Wege behandelt werden.

Dafür bieten sich grundsätzlich folgende Möglichkeiten an:

- a) Aufkonzentrierung des Methans und Verwertung
- b) Verbrennung mit Stützfeuerung
- c) Autotherme Oxidation
- d) Biofilter

zu a) Aufkonzentrierung

Eine Aufkonzentrierung ist bei einer Nutzung des Deponiegases in Gasmotoren anwendbar. Die Aufkonzentration kann grundsätzlich durch das Druckwechsel-Verfahren oder das Membranverfahren erfolgen. In Österreich sind zwei Anlagen, die mit dem Druckwechsel-Verfahren arbeiten in Betrieb, wobei diese Anlagen aber fast ausschließlich der Gasreinigung dienen (Steyr und Halbenrain). Die Anlage in Steyr arbeitet nach Auskunft des Betreibers zufriedenstellend.

Weiters ist bei einer energetischen Nutzung eine Erhöhung des Methangehaltes durch Zugabe von Erdgas ökologisch sinnvoll.

zu b) Stützfeuerung

Bei Abfackelung ist eine Stützfeuerung mit Erdgas bei zu geringem Methangehalt des Deponiegases möglich. Dabei wird Erdgas ohne Nutzung verbrannt, sodass diese Lösung ökologisch im Allgemeinen nicht sinnvoll ist. Wenn der Methangehalt des Deponiegases nur fallweise und dann geringfügig unter der Zündgrenze liegt, kann eine Stützfeuerung eine investitionskostengünstige und ökologisch akzeptable Lösung darstellen. Sie ist ökologisch noch wesentlich günstiger als eine Direktmission von Methan, da dabei Methan mit einem GWP-Wert von 21 zu CO_2 umgesetzt wird.

Die Investitionskosten für eine Stützfeuerung sind gering, wenn ein Erdgasanschluss auf der Deponie vorhanden ist. Anderenfalls sind sie vor allem von den Kosten für die Zuleitung bestimmt und nicht generell angebar.

zu c) Autotherme Oxidation

Bei der autothermen Oxidation wird zunächst ein Reaktorbett auf ca. 1000 °C vorgewärmt und anschließend das methanhaltige Gasgemisch über das Reaktorbett geführt. Bei diesen Temperaturen werden die im Gasgemisch enthaltenen Gase und damit die enthaltene Energie durch Oxidation freigesetzt und hält so den Reaktor auf Betriebstemperatur. Bei Methankonzentrationen zwischen 0,3 und 1,0 Vol.-% kann das Verfahren direkt angewendet werden. Liegt die Methankonzentration unter 0,3 Vol.-% ist eine Stützfeuerung erforderlich. Bei Methankonzentrationen über 1,0 Vol.-% ist die Zumischung von Luft erforderlich, um einen ausreichenden Abstand von der unteren Explosionsgrenze (ca. 5 %) einzuhalten.

In Österreich wird eine derartige Anlage nicht eingesetzt. In der Schweiz und in Deutschland wird dieses System bei Altablagerung zur Methanumsetzung verwendet. Das System ist etwa ab einer Deponiegasmenge von 30-50 m³/h einsetzbar. Die Investitionskosten liegen in einer Größenordnung von ca. 2,5 Mio.S = 0,2 Mio.€ bei einer Deponiegasmenge von 50 m³/h und bei ca. 6 Mio.S = 0,4 Mio.€ bei einer Deponiegasmenge von 500 m³/h. Bei den Betriebskosten fallen Stromkosten für das Gebläse und Kosten für Reparatur und Wartung an.

Ökologisch gesehen ist dieses System eine sehr günstige Lösung, da einerseits das Methan sicher umgesetzt wird und andererseits nur wenig Fremdenergie benötigt wird.

zu d) Biofilter

Biofilter sind wie die belebte Bodenschicht bei entsprechender Beaufschlagung geeignet, Methan zu behandeln. Bei einer Raumbelastung des Biofilters von ca. 0,5 m³ Methan/m³.d (= ca. 20 l Methan/m³.h) sind Biofilter zur Methanoxidation geeignet. Voraussetzung ist eine ausreichende Sauerstoffversorgung, d. h. im Allgemeinen ist die Zumischung von Luft zum angesaugten Gas erforderlich, wobei erhebliche Mengen benötigt werden. Die Methankonzentration in dem Luft-Deponiegasgemisch, das dem Biofilter zugeführt wird, muss auf alle Fälle mit ausreichender Sicherheit unter der unteren Explosionsgrenze von ca. 5 Vol.-% liegen. Beträgt beispielsweise die Methankonzentration im abgesaugten Gas 25 Vol.-%, so sind zumindest 15 m³ Luft zu je 1 m³ Gas zuzumischen, um die Explosionsgrenze mit ausreichender Sicherheit zu unterschreiten. Eine Vermischung mit Luft ist ferner erforderlich, um eine ausreichende Sauerstoffversorgung im Biofilter sicherzustellen, da zur organischen Oxidation von 1 g Methan ca. 4 g Sauerstoff erforderlich sind.

Ein Biofilter ist vor allem für Deponiegas mit geringen Methankonzentrationen geeignet. Da der Flächenbedarf bei der oben beschriebenen Belastung erheblich ist, sind derartige Anlagen vor allem bei geringen Methanmengen bzw. bei geringen Konzentrationen einsetzbar. Inwieweit derartige Anlagen die Funktionssicherheit technischer Anlagen aufweisen kann derzeit nicht beurteilt werden, da mit systematisch zur Methanentfernung betriebenen Biofiltern wenige Erfahrungen vorliegen.

Die Investitionskosten derartiger Anlagen dürften für Deponiegasmengen von ca. 100 m³/h und einer Methankonzentration von 25 % bei 3-5 Mio.S = 0,2-0,3 Mio.€ liegen. Bei einer Methankonzentration von 5 % sinken die Kosten auf ca. 1-1,5 Mio.S = 0,07-0,1 Mio.€ . Die laufenden Betriebskosten werden durch die Stromkosten für das Gebläse bestimmt. Die Filterfüllung ist nach den Erfahrungen bei anderen Abluftbiofiltern ca. alle 3-5 Jahre auszuwechseln.

11.5 Kosten von Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen der Deponien

Eine Angabe von Kosten über das in Pkt. 11.4 hinausgehende Maß ist ohne Festlegung der Maßnahmen, die auf den einzelnen Deponien zu setzen sind praktisch nicht möglich. Für die Festlegung der Maßnahmen müssen alle direkt für die Gasemissionen relevanten Elemente, wie z. B. Abdeckung, Gaserfassung und Gasverwertung, überprüft werden. Ferner wird es sinnvoll sein, auch die indirekten Einflüsse, wie z. B. ausreichende Feuchte, zu überprüfen.

11.6 Vorschlag für Maßnahmen auf oberösterreichischen Deponien

Auf den oberösterreichischen Deponien können die folgenden, relativ einfachen kostengünstigen Maßnahmen eine weitere Verminderung der klimarelevanten Gasemissionen der Deponien bewirken.

- Begehung der Deponien zur Feststellung von Fehlstellen der Deponieabdeckungen (visuell oder mit Gasmessgeräten)
- Ausbessern der Fehlstellen (Abdichten und/oder Abdecken mit biologisch aktivem Material)
- Deponiebautechnische Maßnahmen, wie kleine Schüttabschnitte und frühzeitige Entgasung

12 Zusammenfassung der Studie

12.1 Ziel der Studie

Die Studie hat zum Ziel, die klimarelevanten, gasförmigen Emissionen der oberösterreichischen Deponien und Altlasten derzeit und in der näheren Zukunft so gut wie möglich abzuschätzen. Dies erfolgt einerseits auf rechnerischem Weg und andererseits durch Messungen. Die ermittelten Emissionen werden in Bezug zu den Gesamtemissionen klimarelevanter Gase in OÖ gesetzt und mit der Situation in Gesamtösterreich verglichen. Weiters werden Vorschläge für Maßnahmen zur Verminderung der klimarelevanten, gasförmigen Emissionen der Deponien gemacht.

12.2 Rechtliche Grundlagen

Die vorliegende Studie baut in rechtlicher Hinsicht wesentlich auf die Deponieverordnung (BGBl. 164/1996) und die WRG-Novelle Deponien (BGBl. 59/1997) auf. Hier ist festgesetzt, dass ab dem 01.01.2004 keine reaktionsfähigen Abfälle auf Deponien direkt abgelagert werden dürfen.

12.3 Auftrag

Der Auftrag für die gesamte Studie wurde vom Amt der OÖ. Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, Unterabteilung Abfallwirtschaft, an das Büro Dipl.-Ing. Dr. Werner Flögl, Zivilingenieur für Bauwesen, erteilt. Die Gasmessungen (FID-Begehungen und Boxenmessungen) auf den Deponien wurden von der Linz Service GmbH.-IWA Institut für Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung und Forschung als Subunternehmer ausgeführt. Die Gasanalysen wurden von der VA TECH Chemserv Industrieservice-Institut für Industrie- und Umweltanalytik als Subunternehmer vorgenommen.

12.4 Ausgangssituation

Derzeit fallen in OÖ im Jahr rund 162.000 t/a Restabfälle aus Haushalten, ca. 32.000 t/a sperrige Abfälle und ca. 124.000 t/a gemischte Betriebsabfälle an (Stand 1999). 262.000 t/a oder 82 % wurden zu verschiedenen Deponien entsorgt, 56.000 t/a oder 18 % wurden in Wels verbrannt.

Derzeit sind in OÖ acht Deponien (Asten-kommunal, Braunau, Laakirchen, St. Martin im Mühlkreis, Ort, Redlham, Steyr, Traun) mit Entgasung und zwei Deponien ohne Entgasung (Asten-Klärschlamm, Wels) in Betrieb. Eine Deponie ohne Entgasung (Hehenberg) wurde im Juli 2001 geschlossen. Diese Deponien wurden einzeln untersucht. Weiters wurden in der vorliegenden Studie zwei größere Deponien ohne Entgasung (Braunau AMAG, Braunau ÖBK), die bereits längere Zeit geschlossen sind, untersucht. Die übrigen geschlossenen Deponien und sonstigen Altablagerungen wurden in Summe betrachtet.

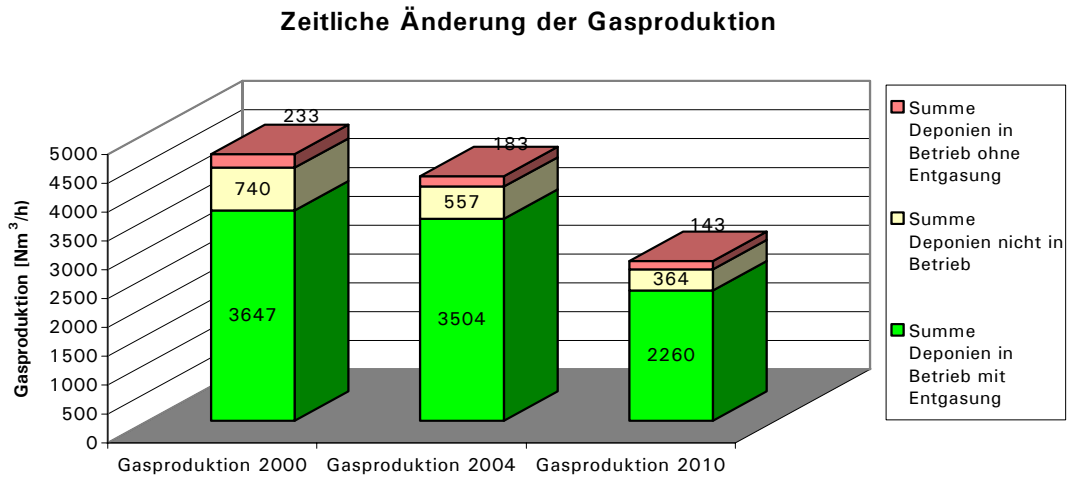
12.5 Rechnerische Ermittlung der Emissionen

Die rechnerische Ermittlung der Gasemissionen baut auf die Berechnung der Gasproduktion in den einzelnen Deponien auf. Dafür wurden die abgelagerten Abfallmengen und Abfallqualitäten für die betrachteten Deponien benötigt. Da auch früher abgelagerte Abfälle wesentlich zur Gasproduktion beitragen, war es erforderlich, die in der Vergangenheit abgelagerten Abfallmengen und -qualitäten zu erheben bzw. abzuschätzen. Als Zeitspanne wurden 30 Jahre gewählt, da nach 30 Jahren die Gasentwicklung von Abfall zu 90-95 % abgeschlossen ist, d. h. dass Ablagerungen ab dem Jahr 1971 zu berücksichtigen waren.

Die Aufzeichnungen der Deponiebetreiber reichen im Allgemeinen etwa 15 Jahre zurück. Für die Zeit davor mussten die abgelagerten Mengen und Qualitäten an Hand weniger Hinweise abgeschätzt werden. Aufgrund der mit der Zeit abnehmenden Gasproduktion des Abfalles sind ältere Ablagerungen für die Gesamtgasproduktion einer Deponie wenig bedeutend. Ein allfälliger Fehler in der Abschätzung der früher abgelagerten Abfallmengen beeinflusst daher das Ergebnis nicht wesentlich.

Auftragsgemäß waren die Emissionen auch für die Zukunft abzuschätzen. Als Prognosezeitpunkt wurden die Jahre 2004 (Inkrafttreten des Ablagerungsverbotes der Deponieverordnung) und 2010 (Mittelwert des Kyoto-Zielraumes 2008-2012) ausgewählt. Dabei wurde angenommen, dass bis einschließlich des Jahres 2003 die derzeit jährlich anfallenden Mengen gleich wie derzeit entsorgt werden. Ab dem Jahr 2004 werden nur mehr Schlacken und Aschen bzw. in einer MBA vorbehandelte Abfälle abgelagert. Die Aufteilung auf die Behandlungsarten und die Anlagen wurde der „Grundsatzstudie über die Restabfallentsorgung in OÖ ab dem Jahr 2004“ entnommen.

Die Berechnung der Gasproduktion erfolgte nach anerkannten Formeln mit in der Abfallwirtschaft üblichen, der Literatur entnommenen Parametern. Das Ergebnis der Berechnung ist in der folgenden Abbildung A dargestellt.

Abbildung A – Rechnerische Gasproduktion der oberösterreichischen Deponien

Es zeigt sich, dass bis zum Jahr 2004 die Deponiegasproduktion nur geringfügig abnimmt (ca. 5 %). Bis 2010 wird die Gasproduktion gegenüber dem Jahr 2000 um ca. 38 % abnehmen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ab 2004 nur mehr vorbehandelte und reaktions-träge Abfälle abgelagert werden dürfen.

Bei jenen acht Deponien, bei denen eine Gas erfassung installiert ist, wurde die von den Deponiebetreibern angegebene, erfasste Gasmenge übernommen. Es zeigt sich, dass derzeit im Jahresmittel in OÖ 998 Nm³/h Deponiegas erfasst werden. 902 Nm³/h werden in Gasmotoren mit Abwärmenutzung verwertet, 40 Nm³/h werden zur Wärmeversorgung genutzt. Der Rest (56 Nm³/h) wird abgefackelt.

Diese Erfassung bedeutet, dass im Mittel ca. 27 % der rechnerischen Gasproduktion der Deponien mit den Entgasungssystemen erfasst wird. Im Allgemeinen weisen dabei größere Deponien bessere Gas erfassungsprozentsätze auf als kleinere Deponien.

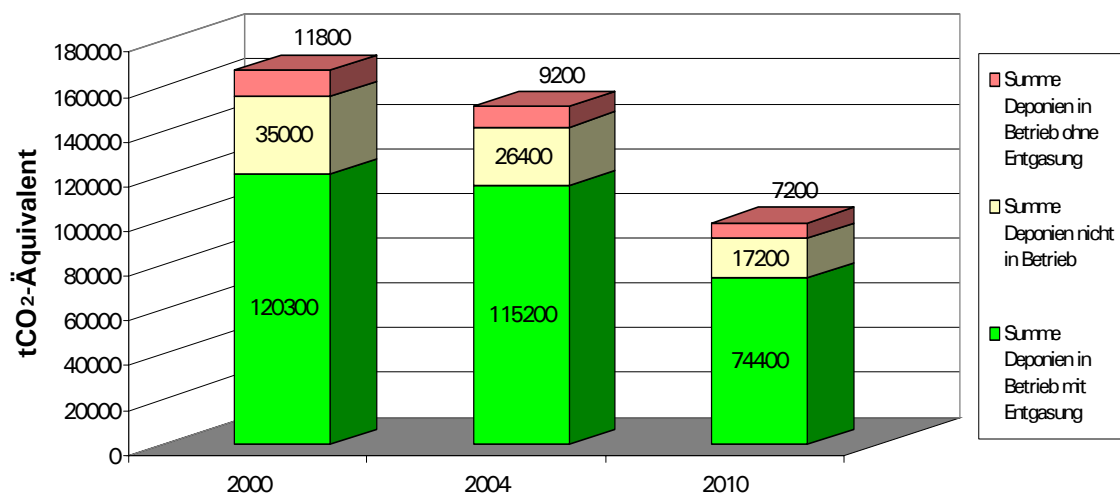
Die rechnerische Gasemission wird ermittelt, in dem von der errechneten Gasproduktion die erfasste Gasmenge (von den Betreibern angegeben) abgezogen wird. Um den Methanabbau in der belebten Bodenschicht und eine allfällige verminderte Gasproduktion durch Austrocknung der Deponie (Mumifizierung) zu berücksichtigen, musste weiters ein Abminderungsfaktor für diese Differenz eingeführt werden. Die so abgeminderte Differenz ergibt dann die rechnerische Gasemission des Deponiekörpers.

Die Gesamtemission einer Deponie setzt sich aus der Emission des Deponiekörpers und den Emissionen der Gasverwertung zusammen. Bei einer Abfackelung des Deponiegases wird das Methan zu Kohlendioxid umgesetzt, sodass zusätzliche Kohlendioxidemissionen entstehen. Wird das Deponiegas in Gasmotoren oder thermisch verwertet, werden dadurch einerseits Kohlendioxidemissionen freigesetzt, andererseits werden fossile Brennstoffe substituiert und dadurch Emissionen eingespart, sodass bei einer Verwertung in Gasmotoren mit Wärmerückgewinnung insgesamt Emissionen reduziert werden.

Die Emissionen des Deponiekörpers und die Emissionen der Gasverwertung werden aufaddiert, wobei die direkten Methanemissionen der Deponien in Kohlendioxid-Äquivalente umgerechnet werden.

Die Emissionen werden wiederum für die Jahre 2000, 2004 und 2010 errechnet, wobei angenommen wurde, dass die Prozentsätze der Gasfassung und die Art der Gasverwertung gleich bleiben. Die rechnerischen Emissionen aller öö. Deponien sind in der folgenden Abbildung B dargestellt.

Abbildung B – Deponiegasemissionen in ÖÖ



Bis 2004 ist nur ein geringer Rückgang der Emissionen zu erwarten. Durch das Ablagerungsverbot der Deponieverordnung gehen die Emissionen rechnerisch im Jahr 2010 auf ca. 60 % des Wertes des Jahres 2000 zurück.

12.6 Emissionsmessungen

Auf den Deponien Asten-kommunal, die von der Linz Service GmbH. betrieben wird, und auf der Deponie Redlham, die von der Firma „Die Entsorger AVE“ betrieben wird, wurden einvernehmlich mit den Betreibern Messungen durchgeführt.

Zunächst wurde jede Deponie mit einem Flammenionisationsgerät begangen und die bodennahen Methankonzentrationen an Punkten in einem Raster von 15 m x 15 m bestimmt. Dabei zeigte sich, dass an 75-80 % der Punkte keine oder nur geringe Konzentrationen messbar sind.

Anschließend wurde an ausgewählten Punkten der Deponieoberfläche Messboxen aufgestellt und die aufsteigenden Gasfrachten ermittelt. Der größere Teil der Boxen wurde dabei einmal beprobt. Bei mehreren Boxen auf beiden Deponien wurden zusätzlich fünf weitere Messungen bei unterschiedlichen Wetterlagen durchgeführt. Dabei traten deutliche Schwankungen auf.

Anschließend wurde auf Basis der Begehung mit dem Flammenionisationsgerät und der Boxenmessung die Methanfrachten, die von den beiden Deponien emittiert werden, ermittelt. Die Genauigkeit der ermittelten Frachten ist dabei wegen der Schwankungen der Messergebnisse der Boxen nicht sehr hoch und die Schwankungsbreite kann größenordnungsmäßig mit der Hälfte bzw. dem Doppelten des ermittelten Wertes angegeben werden.

Auf Basis der Messungen wurden für Asten eine Emission von 886 Nm³/h Deponiegas, für Redlham von 322 Nm³/h ermittelt.

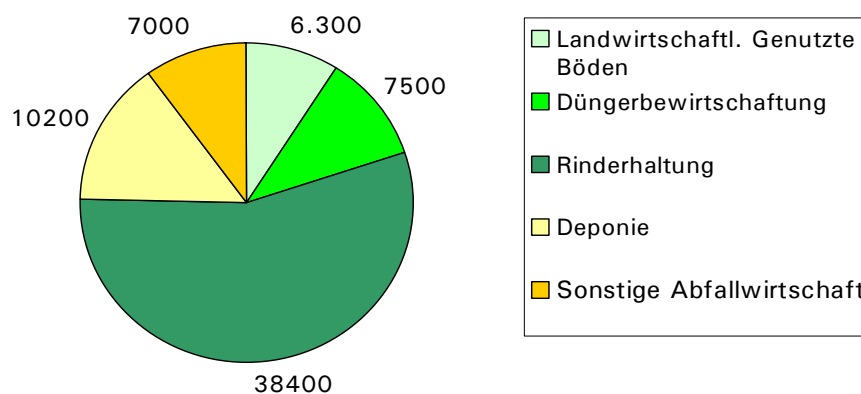
Während in Asten die Ergebnisse der rechnerischen und messtechnischen Ermittlung gute Übereinstimmungen aufweisen, sind in Redlham die auf Basis der Messungen ermittelten Emissionen deutlich geringer als die rechnerisch ermittelten Emissionen. Als Ursache für die Abweichung in Redlham muss auch aufgrund anderer Hinweise, wie z. B. geringere Setzungen, vermutet werden, dass die Abbauvorgänge im Inneren der Deponie, die zur Gasbildung führen, verlangsamt sind oder teilweise zum Erliegen gekommen sind. Der Grund dafür dürfte in einer mangelhaften Feuchtigkeitsversorgung des Deponiekörpers zu suchen sein. Dadurch wird die Gasproduktion behindert und die Emissionen pro Zeiteinheit gehen zurück. Die Gesamtemissionen werden aber dadurch nicht vermindert, weil die Menge an organisch abbaubarem Kohlenstoff nicht verändert wird. Die Emissionen werden durch diese Vorgänge in die Zukunft verlagert.

12.7 Vergleich der Emissionen der oö. Deponien mit anderen Emissionen in OÖ und Österreich

Wesentliche klimarelevante Emissionen stellen die Kohlendioxidemissionen, die Methanemissionen und die Lachgasemissionen dar. Die Deponien emittieren im Wesentlichen Methan. Die Klimarelevanz der im Deponiegas enthaltenen halogenierten Kohlenwasserstoffe ist etwa um den Faktor 50 geringer als die Klimarelevanz des emittierten Methans. Sie liegt damit wesentlich unter der Ermittlungsgenauigkeit der Methanemissionen und wird daher im Weiteren nicht mehr betrachtet. Das im Deponiegas enthaltene Kohlendioxid stammt wesentlich aus dem Abbau organischer Substanzen, wie Vegetabilien, und kann daher als aufkommensneutral angesehen werden. Lachgas wird von den Deponien nicht emittiert.

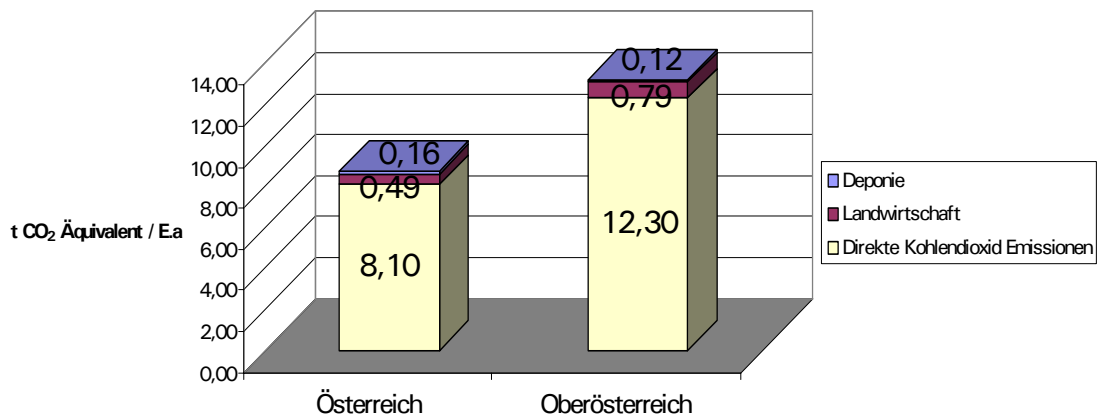
Wesentlicher Methanemittent in Österreich und OÖ ist neben der Abfallwirtschaft vor allem die Landwirtschaft. Diese Emissionen sind durch die Rinderhaltung, die Düngerbewirtschaftung und die Emissionen der landwirtschaftlichen Böden bestimmt. In der folgenden Abbildung C sind die Methanemissionen in OÖ wiedergegeben.

Abbildung C – Methanemissionen in OÖ [t/a]



Wie aus der Grafik entnehmbar, betragen die Emissionen der Deponien nur ca. ein Fünftel der Emissionen der Landwirtschaft.

Für das Klima sind die Kohlendioxidemissionen aber noch wesentlich bedeutender als die Methanemissionen. Insbesondere in OÖ liegen die Kohlendioxidemissionen, bedingt durch die hohe Industrialisierung spezifisch höher als in Gesamtösterreich. Die CO₂-Emissionen sind wesentlich durch den Verbrauch an fossilen Brennstoffen bestimmt. In der folgenden Abbildung D sind die spezifischen Emissionen, dies sind die Emissionen pro Einwohner für Österreich und OÖ, dargestellt.

Abbildung D – Spezifische Emissionen klimarelevanter Gase in Österreich und OÖ

Die Emissionen aller österreichischen Deponien werden in einer Veröffentlichung des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie behandelt. Vergleicht man das Ergebnis dieser Veröffentlichung mit dem Ergebnis der vorliegenden Studie, so zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Die errechneten Emissionen liegen jeweils aber deutlich unter den im 2. Nationalen Klimabericht der Bundesregierung [34] bzw. im OÖ. Klimabericht 1996 [35] angegebenen Emissionen der Deponien.

12.8 Reduktionsziele

Im 2. Nationalen Klimabericht der Bundesregierung wird für die Deponien und das Deponiegas ein Reduktionspotenzial von 100.000 t CO₂/a und 3.000 t Methan CH₄/a für Gesamtösterreich für den Zeitraum 1990-2005 genannt. Teilt man entsprechend dem Abfallaufkommen und dem Deponievolumen OÖ etwa 15 % zu, so ergibt dies für OÖ ein Reduktionspotenzial von 15.000 t/a CO₂ und 300 t/a CH₄.

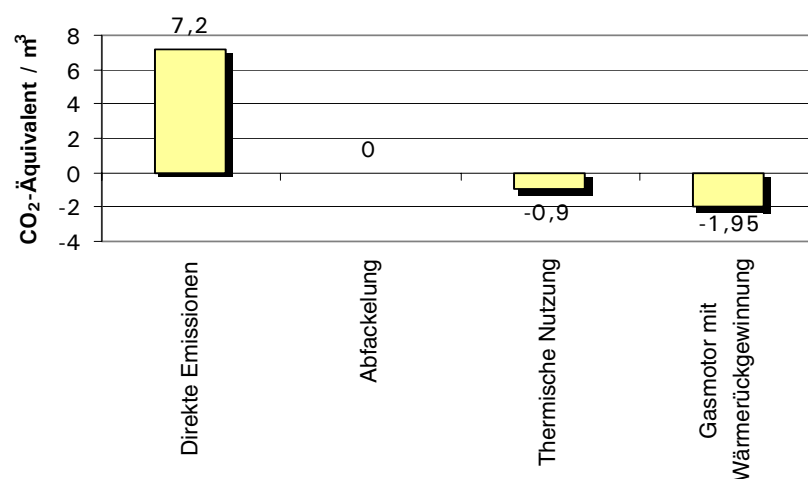
Durch die in OÖ 1992-1998 errichteten Entgasungsanlagen mit Gasverwertung, Stromerzeugung und Wärmenutzung werden ca. 15.000 t/a CO₂-Emissionen, die ansonsten bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe für die Energieerzeugung entstanden wären, substituiert. Weiters werden dadurch ca. 3.400 t/a Methanemissionen erfasst. Das im 2. Nationalen Klimabericht angegebene Reduktionspotenzial wird in OÖ durch die gesetzten Maßnahmen in Bezug auf das CO₂ schon heute erreicht und in Bezug auf das Methan bereits wesentlich überschritten.

12.9 Weitere Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass die größten Emissionen in OÖ von jenen acht Deponien, auf denen heute reaktive Abfälle direkt abgelagert werden, ausgehen. Die abgeschlossenen Deponien, die Klärschlammdeponie Asten und die Deponie Wels (Asche, Schlacke), spielen nur eine untergeordnete Rolle. Die Bedeutung der Altlasten sinkt dabei noch ab. Maßnahmen sind daher vor allem auf diesen acht Deponien sinnvoll.

Als Wesentlichste Maßnahme muss eine Verbesserung der Deponiegaserfassung bezeichnet werden. Eine Deponiegasverwertung ist zwar vorteilhaft, hat aber nicht mehr jene Wirksamkeit wie die Gaserfassung. In der folgenden Abbildung E sind die in CO₂-Äquivalente umgerechneten direkten Emissionen und die Emissionen der einzelnen Verwertungswege dargestellt.

Abbildung E – Direkte Emissionen und Emissionen der Gasverwertung



Auf OÖs Deponien können die folgenden, relativ einfachen und kostengünstigen Maßnahmen eine weitere Verminderung der klimarelevanten Gasemissionen bewirken.

- Begehung der Deponien zur Feststellung von Fehlstellen der Deponieabdeckungen (visuell oder mit Gasmessgeräten)
- Ausbessern der Fehlstellen (Abdichten und/oder Abdecken mit biologisch aktivem Material)
- Deponiebautechnische Maßnahmen, wie kleine Schüttabschnitte und frühzeitige Entgasung