© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

umweltbundesamt

BIOLOGISCH ABBAUBARER KOHLENSTOFF IM RESTMÜLL

Christian Rolland

Martin Scheibengraf

BERICHTE

BE-236

Wien, 2003

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Projektleitung
Christian Rolland

Autoren
Christian Rolland, Martin Scheibengraf

Lektorat
Brigitte Karigl

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes finden Sie unter: www.umweltbundesamt.at

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Vienna,
Österreich/Austria

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf Recyclingpapier/*Printed on recycling paper*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2003
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-712-5

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Zusammenfassung

Dieser Bericht befasst sich mit dem biologisch abbaubaren Kohlenstoff des Restmülls. Der biologisch abbaubare Kohlenstoff spielt eine wichtige Rolle bei biologischen Umsetzungsprozessen. So wird in Deponien organische Substanz von Mikroorganismen als Nahrungsquelle genutzt und teilweise zu Deponiegas umgesetzt. Je mehr biologisch abbaubarer Kohlenstoff im deponierten Abfall enthalten ist, umso mehr Deponiegas entsteht. Da Deponiegas wesentlich zum Treibhausgaseffekt beiträgt, ist die Reduktion des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs im Restmüll ein wesentliches Ziel der österreichischen Abfallwirtschaft.

Mit Hilfe von Literaturdaten wurde eine Zeitreihe des biologisch abbaubaren Kohlenstoffgehaltes des Restmülls von 1960 bis 2003 erarbeitet. Die Einführung der getrennten Sammlung von Bioabfällen hatte dabei einen wesentlichen Einfluss auf die Reduktion des biologisch abbaubaren Kohlenstoffgehaltes im Restmüll. Aus Abbildung 1 ist ersichtlich, dass die Bioabfallmengen im Restmüll von 1990 bis 1999 deutlich verringert wurden, während die getrennt gesammelten Bioabfallmengen zunahmen.

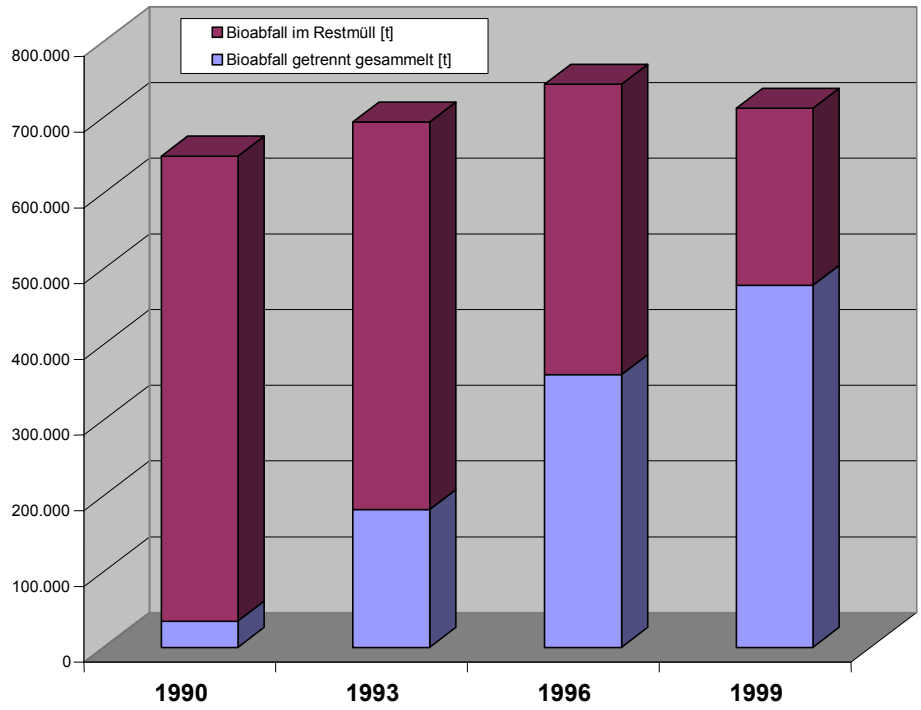

Abbildung 1: Masse der mit dem Restmüll gesammelten biogenen Abfälle und Masse der über eine Biotonne getrennt gesammelten biogenen Abfälle in Österreich.

Durch die Einführung der getrennten Sammlung von Bioabfall und durch die verstärkte Sammlung von Papier ist es gelungen, den biologisch abbaubaren Kohlenstoff von 200 g pro kg feuchten Restmüll im Jahr 1990 auf rund 120 g pro kg feuchten Restmüll zu reduzieren (siehe Zeitreihe in Tabelle 1). Aufgrund dieser Reduktion und der damit einhergehenden Verringerung der deponierten Restmüllmengen konnten Emissionen von rund 70 Millionen t Methan vermieden werden.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 1: Zeitreihe des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs im Restmüll von 1990 bis 2003

Jahr	Biologisch abbaubarer Kohlenstoff [g/kg Feuchtsubstanz]
1960 - 1969	230
1970 - 1979	220
1980 - 1989	210
1990	200
1991	190
1992	180
1993	170
1994	160
1995	150
1996	140
1997	130
1998	130
1999	120
2000	120
2001	120
2002	120
2003	120

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG 4

2 DEPONIEGASPROGNOSE NACH TABASARAN & RETTENBERGER 5

3 LITERATURWERTE ZUM BIOLOGISCH ABBAUBAREN KOHLENSTOFFGEHALT VON RESTMÜLL 6

3.1 Allgemeine Literaturwerte zum biologisch abbaubaren Kohlenstoffgehalt von Restmüll 6

3.2 Aus Sortieranalysen abgeleitete biologisch abbaubare Kohlenstoffgehalte von Restmüll 7

3.2.1 Berechnungen des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft – TU Wien 7

3.2.2 Untersuchungen des Institutes für Entsorgungs- und Deponietechnik – Montanuniversität Leoben 8

3.2.3 Untersuchungen des Bayrischen Landesamtes für Umweltschutz 10

3.2.4 Zusammenfassung der Analyse des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs im Restmüll 14

4 ENTWICKLUNG DER RESTMÜLLZUSAMMENSETZUNGEN 15

5 ABLEITUNG EINER ZEITREIHE DES BIOLOGISCH ABBAUBAREN KOHLENSTOFFGEHALTES FÜR RESTMÜLL 18

6 LITERATURVERZEICHNIS 20

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

1 EINLEITUNG

Dieser Bericht beschäftigt sich mit dem biologisch abbaubaren Kohlenstoff im Restmüll. Bisher durchgeführte Studien widmeten sich vielfach nur dem gesamten organischen Kohlenstoff (TOC) im Restmüll. Dabei wird z.B. auch der Kohlenstoff aus Kunststoffen miterfasst, der biologisch nur schwer und langfristig abbaubar ist. Für die Berechnung von Deponiegasmengen ist allerdings der kurz- und mittelfristig biologisch abbaubare Kohlenstoff entscheidend und dadurch bei verschiedenen Deponiegasprognosemodellen eine wichtige Variable.

Um die Ergebnisse dieser Rechenmodelle zu verbessern, wurde in diesem Projekt über eine Literaturrecherche die zeitliche Veränderung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs analysiert und eine Zeitreihe, beginnend im Jahr 1960, abgeleitet. Schwerpunktmäßig wurde die Auswirkung der getrennten Sammlung von Altstoffen auf den biologisch abbaubaren Kohlenstoffgehalt im Restmüll betrachtet.

Für die Ermittlung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs wurden vor allem Studien herangezogen, bei deren Erstellung neben einer Restmüllsortieranalyse auch der Kohlenstoffgehalt der einzelnen Sortierfraktionen analysiert wurde.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

2 DEPONIEGASPROGNOSE NACH TABASARAN & RETTENBERGER

Um die entstehenden Deponiegasmengen in Deponien prognostizieren zu können, wurden verschiedene Rechenmodelle entwickelt. Der Ansatz der meisten Gasprognosemodelle basiert auf dem Anfangskohlenstoffgehalt der abgelagerten Abfälle. Dabei wird angenommen, dass der Kohlenstoff im Müll durch anaerobe biologische Prozesse in die Gaskomponenten CO_2 und CH_4 umgesetzt wird. Dabei gilt folgende Beziehung:

$$G_e = 1{,}868 * C_{org}$$

G_e = Gesamtgasmenge in m³/t Abfall

C_{org} = biologisch abbaubarer organischer Kohlenstoffgehalt (degradable organic carbon) in kgC/t Abfall

Der Faktor 1,868 gibt an, dass aus 1 g Kohlenstoff stöchiometrisch 1,868 l Deponiegas entstehen. Aus einem Mol C entstehen 22,4 l Gas. Bei einem Atomgewicht von 12 g/molC ergeben sich 1,868 l Gas pro g C (HUBER 1995). Aus diesem Ansatz heraus wurde über Laborversuche auch das Deponiegasprognosemodell von Tabasaran & Rettenberger abgeleitet, das vom Umweltbundesamt im Rahmen der Österreichischen Luftschadstoffinventur zur Berechnung der Deponiegasentstehung aus Restmüll verwendet wird.

Von Tabasaran & Rettenberger wurde folgende Deponiegasprognoseformel entwickelt.

$$G_e = 1{,}868 * C_{org} * (0{,}014 * T + 0{,}28)$$

mit

G_e = die in langen Zeiträumen gebildete Gasmenge in m³/t_{Abfall}

T = Temperatur in °C

C_{org} = biologisch abbaubarer organischer Kohlenstoff

Wesentliche Voraussetzung der Anwendung des Modells ist die Wahl der Parameter. TABASARAN & RETTENBERGER 1987 empfehlen folgende Werte:

C_{org}: Für Hausmüll liegt dieser Wert zwischen 170 und 220 kg/t Abfall, sollte aber für jede Deponie aufgrund von vorliegenden Analysendaten des Abfalls maßgeschneidert gewählt werden.

T: Die Temperaturen in Deponien liegen überwiegend um 30 – 35°C; allerdings werden diese Werte durchaus über- bzw. unterschritten. Wesentlich ist, dass die Anwendung des Modells nur für den mesophilen Bereich zulässig ist.

Wie aus der Gleichung ersichtlich ist, sind im Modell nach Tabasaran & Rettenberger der abbaubare organische Kohlenstoff und die Temperatur die Faktoren zur Bestimmung der gebildeten Deponiegasmenge (TABASARAN & RETTENBERGER 1987).

Außer Acht gelassen werden bei diesem Modell Parameter wie z.B. Wassergehalt und Nährstoffversorgung, die ebenso einen Einfluss auf die Deponiegasbildung haben.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3 LITERATURWERTE ZUM BIOLOGISCH ABBAUBAREN KOHLENSTOFFGEHALT VON RESTMÜLL

Der biologisch abbaubare Kohlenstoffgehalt (im Folgenden kurz C_{org}) ist ein wesentlicher Parameter von Deponiegasprognosemodellen. Die Bestimmung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffgehaltes von Restmüll ist schwierig, weil Restmüll ein sehr heterogenes Abfallgemisch ist und bisher keine genormte Bestimmungsmethode für den biologisch abbaubaren Kohlenstoffgehalt vorliegt[1]. Analysiert wird i.d.R. der TOC (Total Organic Carbon). Dabei wird z.B. auch Kohlenstoff aus Kunststoffen erfasst, der biologisch nur schwer abbaubar ist und damit kurz- und mittelfristig nichts zur Deponiegasbildung beiträgt.

3.1 Allgemeine Literaturwerte zum biologisch abbaubaren Kohlenstoffgehalt von Restmüll

In der Literatur findet man zum biologisch abbaubaren Kohlenstoffgehalt einige Werte aus verschiedenen Jahren (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Literaturwerte zum biologisch abbaubaren Kohlenstoff von Restmüll bzw. Hausmüll in kg Kohlenstoff pro Tonne feuchten Restmüll (FS ..... Feuchtsubstanz)

Biologisch abbaubarer Kohlenstoff [kg C/t FS]	Quelle
170 - 220	TABASARAN & RETTENBERGER 1987
170 [1)]	RINGHOFER et al. 1991
170	ERHART – SCHIPPEK 1994
200	HACKL & MAUSCHITZ 1999
137	ÖWAV 2002

[1)] Annahme für Mischmüll aus Hausmüll, Gewerbemüll, Bauschutt und sonstigem Inertmaterial

TABASARAN & RETTENBERGER 1987 führen für Hausmüll einen Wertebereich von 170 bis 220 kg C/$t_{Hausmüll}$ FS an. Für mittlere Verhältnisse soll der C_{org} bei 200 kg C/$t_{Hausmüll}$ FS liegen. Es handelt sich dabei um Werte aus dem Jahr 1987, die von den Autoren zur Berechnung von Deponiegasmengen empfohlen werden.

RINGHOFER et al. 1991 haben für eine Gasprognose einen C_{org} von 170 kg C/t_{Abfall} FS für Mischmüll aus Hausmüll, Gewerbemüll, Bauschutt und sonstigem Inertmaterial für das Jahr 1991 angesetzt. Um die Einführung der getrennten Biomüllsammlung zu berücksichtigen wurde angenommen, dass der C_{org} bis 1996 jedes Jahr um 10 kg C/t_{Abfall} FS abnimmt und im Jahr 1996 nur mehr 100 kg C/t_{Abfall} FS aufweist.

ERHART – SCHIPPEK et al. 1994 haben für eine Gasprognose beginnend im Jahr 1993 einen C_{org} von 170 kg C/$t_{Restmüll}$ FS verwendet. In den Folgejahren bis 2004 wurde eine jährliche Abnahme um 10 kg C/$t_{Restmüll}$ FS angenommen, sodass im Jahr 2004 nur mehr mit 60 kg C/t_{Abfall} FS gerechnet wurde.

HACKL & MAUSCHITZ 1999 verwendeten in einer Klimastudie zur Deponiegasberechnung einen C_{org} von 200 kg C/$t_{Restmüll}$ FS.

[1] Vorarbeiten für eine Norm werden derzeit von der CEN-Arbeitsgruppe „CN/TC 343 WG 3 Solid recovered fuels – Sampling, sample reduction and supplementary test methods“ durchgeführt.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Der Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) hat im Jahr 2002 einen Arbeitsbehelf zur Abschätzung von Emissionen in Luft und Wasser von Reststoff- und Massenabfalldeponie publiziert. Ein Expertengremium legte darin für Restmüll einen C_{org} von 137 kg $C/t_{Restmüll}$ FS fest.

3.2 Aus Sortieranalysen abgeleitete biologisch abbaubare Kohlenstoffgehalte von Restmüll

3.2.1 Berechnungen des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft – TU Wien

BAUMELER et al. 1998 ermittelten den biogenen Kohlenstoffgehalt im Restmüll ausgehend von einer Restmüllsortieranalyse und von Kohlenstoffgehalten der einzelnen Fraktionen (siehe dazu Tabelle 3).

Tabelle 3: Restmüllzusammensetzung, Wasser- und mittlerer Kohlenstoffgehalt der Restmüllfraktionen (BAUMELER et al. 1998)

	Restmüll-zusammen-setzung (feucht)[1)]	Zusammen-setzung nach Aufteilung der Restfraktion und der Verbundstoffe	Wasser-gehalt der Fraktionen im Abfall	Gesamt-wasser-gehalt	C-Gehalt der Fraktionen (TS)	C-Gehalt der Fraktionen (FS)	C-Gehalt pro kg Restmüll (feucht)
	[%]	[%]	[%]	[%]	[mg/kg TS]	[mg/kg FS]	[mg/kg FS]
Papier, Pappe, Karton	13,5	23,6	22	5,2	440.000	343.200	81.033
Glas	4,4	5,1	4	0,2	0	0	0
Metall	4,5	7,2	5	0,4	0	0	0
Kunst-stoffe	10,6	18,3	14	2,6	800.000	688.000	125.616
Verbund-stoffe	13,8	0,0	-	-	-	-	0
Textilien	4,1	4,7	25	1,2	550.000	412.500	19.575
Biogene Abfälle	29,7	34,4	50	17,2	180.000	90.000	30.938
Problem-stoffe	0,9	1,0	0	0	0	0	0
Mineral. Bestand-teile	3,8	4,4	6	0,3	0	0	0
Holz	1,1	1,3	16	0,2	507.000	425.880	5.422
Rest-fraktion	13,6	0,0	-	-	-	-	-
Summe	100	100		27,2			262.583

[1)] Datenbasis Bundesabfallwirtschaftsplan 1998

Es wurde ein mittlerer biogener Kohlenstoffgehalt anteilsmäßig aus dem Kohlenstoffgehalt der Restmüllfraktionen Papier, Textilien, biogene Abfälle und Holz in der Höhe von 137 kg/t FS berechnet, wobei ein Schwankungsbereich von 114 bis 152 kg/t FS angeführt wird. In der Berechnung ist auch der biogene Kohlenstoff der Holzfraktion enthalten, der biologisch nur schwer abbaubar ist. Lässt man diesen Kohlenstoff unberücksichtigt, ergibt sich ein

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

biologisch abbaubarer Kohlenstoffgehalt von rund **109 bis 147 kg/$t_{Restmüll}$ FS** und ein mittlerer biologisch abbaubarer Kohlenstoffgehalt von 132 kg/t FS. Da der Kohlenstoffgehalt der Fraktion biogene Abfälle im Vergleich zu den Untersuchungen von NELLES et al. 1998 (siehe Kapitel 3.2.2 und Tabelle 5) und von BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003 (siehe Kapitel 3.2.3 und Tabelle 8) niedrig angesetzt wurde, dürfte der obere Wertebereich von rund **140 kg/$t_{Restmüll}$ FS** zutreffender sein.

3.2.2 Untersuchungen des Institutes für Entsorgungs- und Deponietechnik – Montanuniversität Leoben

Differenziertere Restmülluntersuchungen liegen von NELLES et al. 1998 vor. Es wurden umfassende Untersuchungen des Restmülls der Bezirke Bruck an der Mur und Mürzzuschlag durchgeführt. Um die saisonalen Effekte zu minimieren, wurden vier Sortierkampagnen im Abstand von jeweils ca. drei Monaten angesetzt und damit die vier Jahreszeiten abgedeckt. In Summe wurden rund 12 t Restmüll auf einem Sortiertisch sortiert. Die Feinfraktion (Asche, Katzenstreu, Staub etc.) wurde mit einem Sieb von 10 mm Maschenweite abgetrennt.

Die mittlere Zusammensetzung des Restmülls, die auf Basis der vier durchgeführten Sortierkampagnen durch gewichtete arithmetische Mittelwertbildung errechnet wurde, kann der Tabelle 4 entnommen werden. Jahreszeitlich bedingte Schwankungen wurden bei den Fraktionen Feinmüll (19,5 bis 33,3 M-% – aufgrund eines höheren Hausbrandascheanteiles im Winter) und Gartenorganik (0,4 bis 4,2 M-%) festgestellt.

Tabelle 4: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei den vier Sortieranalysen (NELLES et al. 1998)

Sortierfraktionen	Mittelwert [M-%]
Pappe, Papier	2,5
Druckerzeugnisse	1,4
Metallverpackungen	1,9
Glasverpackungen	2,2
Kunststoffverpackungen	3,8
Verbundstoffverpackungen	2,6
Sonstige Metalle	1,7
Flachglas	0,7
Sonstige Kunststoffe	1,9
Materialverbunde	2,7
Organik-Küche	14,8
Organik-Garten	2,4
Textilien/Bekleidung	5,6
Mineralien	6,9
Holz/Gummi/Leder	3,5
Windeln/Hygieneartikel	13,5
Problemstoffe	0,5
Feinmüll	27,0
Restfraktion	4,3
Summe	**100**

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Die bei den Restmüllsortierungen gewonnenen Fraktionen wurden hinsichtlich ihrer biologischen Abbaubarkeit folgendermaßen eingeteilt

Gut biologisch abbaubar	Vegetabilien (Organik-Küche und Organik-Garten), Pappe/Packpapier, Druckerzeugnisse, Windeln/Hygieneartikel
Mittelschwer biologisch abbaubar	Textilien aus Naturfasern (Baumwolle, Seide, Wolle), Rest- und Feinfraktion, Getränkekartonverbund
minimal biologisch abbaubar	Kunststoff-/Verbundstoffverpackungen, sonstiger Kunststoff, Materialverbund, Holz/Gummi/Lederfraktion Textilien aus Kunstfasern
inert	Mineralien, Glas, Eisen- und Nichteisenmetalle sowie Verpackungen des gleichen Materials

Bei der durchgeführten Sortieranalyse machte die Feinfraktion durchschnittlich gut 70 Massenprozent der Gruppe der mittelschwer biologisch abbaubaren Fraktionen aus. Zu beachten ist, dass der Feinmüll stark saisonalen bzw. witterungsbedingten Schwankungen unterworfen war, wodurch der TOC-Gehalt des Feinmülls im Herbst doppelt so hoch war wie im Winter.

Die Restfraktion war aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt und es waren sowohl größere Anteile nativ-organischer Materialien als auch nicht abbaubare Stoffe (Plastikschnipsel, Metallnägel etc.) enthalten.

Textilien aus Naturfasern sind im Allgemeinen recht gut biologisch abbaubar. Das Gleiche gilt für den Papieranteil von Getränkeverbundkartons, die in geringeren Mengen auch aus Kunststoffen und Aluminium bestehen, welche weitgehend biologisch inert sind.

Von den einzelnen Sortierfraktionen wurden auch TOC-Analysen durchgeführt. In der Tabelle 5 sind die TOC-Werte der gut und mittelschwer biologisch abbaubaren Fraktionen dargestellt.

Tabelle 5: Ermittelter TOC und abgeschätzter C_{org} der einzelnen gut und mittelschwer biologisch abbaubaren Fraktionen (NELLES et al. 1998[1)])

	TOC [g/kg$_{Sortierfraktion}$ TS] [1)]	C_{org} /TOC	C_{org} [g/kg$_{Sortierfraktion}$ TS]
Pappe/Packpapier	401	0,99	397
Druckerzeugnisse	381	0,99	377
Organik-Küche	458	1	458
Organik-Garten	431	1	431
Windeln/Hygieneartikel	432	0,9	389
Verbundstoffverpackungen	461	0,6	276
Textilien	483	0,65	314
Feinfraktion	150	0,7	105
Restfraktion	408	0,5	204

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Die in Tabelle 5 ermittelte TOC-Fracht besteht nur teilweise aus biologisch abbaubarem Kohlenstoff. So wird z.B. bei den Windeln ein gewisser Anteil des ermittelten TOC aus Kunststoffen stammen, die biologisch schwer abbaubar sind. In der Tabelle 5 wurden daher in Anlehnung an DEHOUST et al. (2002) die Anteile des organisch abbaubaren Kohlenstoffs am TOC für die einzelnen Fraktionen abgeschätzt und daraus der C_{org} für die einzelnen gut und mittelschwer biologisch abbaubaren Fraktionen berechnet.

In der Tabelle 6 wurden über die Massenanteile (Massenprozent$_{trocken}$) der einzelnen Fraktionen die C_{org}-Werte auf die Masse des Restmülls bezogen und in g/kg$_{Restmüll}$ umgerechnet. Durch Summierung der C_{org}-Werte der einzelnen Fraktionen ergibt sich für Restmüll ein C_{org}-Wert von rund 170,9 g/kg TS.

Tabelle 6: Abschätzung des C_{org}

	C_{org} [g/kg$_{Restmüll}$ TS]
Pappe/Packpapier	11,0
Druckerzeugnisse	5,9
Organik-Küche	39,0
Organik-Garten	6,8
Windeln/Hygieneartikel	43,0
Verbundstoffverpackungen	8,2
Textilien	19,1
Feinfraktion	29,5
Restfraktion	8,4
Summe	**170,9**

Der durchschnittliche Trockensubstanzgehalt des analysierten Restmülls lag bei rund 75%. Bezogen auf die Feuchtsubstanz errechnet sich ein C_{org} von **128 g/kg$_{Restmüll}$ FS**.

3.2.3 Untersuchungen des Bayrischen Landesamtes für Umweltschutz

In Bayern wurde ein F&E-Vorhaben mit dem Titel „Schadstoffgehalt und Zusammensetzung von Siedlungsabfällen“ im Zeitraum 1998 bis 2003 durchgeführt. Da die bayrische Abfallwirtschaft mit der österreichischen vergleichbar ist, sollten die Ergebnisse des Forschungsvorhabens auch die österreichische Restmüllzusammensetzung recht gut abbilden.

Die Restmüllsortierung wurde mit einer Sortieranlage und manueller Sortierung durchgeführt. Der angelieferte Restabfall wurde mit einer Sortieranlage in die Fraktionen Feinmüll (d_p < 10 mm), Mittelmüll (10 mm < d_p < 40 mm) und Grobmüll (d_p > 40 mm) klassiert. Die Grobfraktion wurde auf einem Sortiertisch weiter manuell in 47 Stoffgruppen sortiert. Um die chemischen Analysen der einzelnen Stoffgruppen wirtschaftlich durchführen zu können, wurden die Stoffgruppen unter Berücksichtigung von stofflichen Ähnlichkeiten zu 18 Analysenstoffgruppen, wie in Tabelle 7 dargestellt, zusammengefasst (PRYZBILLA 2002).

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 7: Zusammenfassung der Sortierfraktionen zu Analysenstoffgruppen und Darstellung der Massenanteile (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003)

Analysenstoffgruppe	Abfallsortierfraktionen	Massenanteil am Restmüll (nass) [Mass.-%]
Feinfraktion	Feinfraktion	10,9
Mittelfraktion	Mittelfraktion	14,2
Organik	Küchenabfälle Gartenabfälle Tierkadaver sonstige organische Stoffe	22,5
Hygieneprodukte	Windeln Hygienepapiere	14,5
Papier, Pappe, Kartonagen	PPK-Verpackungen PPK-Druckerzeugnisse Sonstige PPK	7,7
Kunststoffverpackungen inkl. Folien	Kunststoffverpackungen Folien-Verpackungen Folien (keine Verpackungen)	5,5
Textilien	Bekleidungstextilien sonstige Textilien	2,8
Glas	Behälterglas Sonstiges Glas	4,4
Inertes	Inertes Inertverpackungen	2,8
Verbundverpackungen	Verbundverpackungen	1,9
Sonstige Verbunde	Sonstige Verbunde	2,6
Sonstige Kunststoffe	Sonstige Kunststoffe	1,4
Renovierungsabfälle	Renovierungsabfälle	1,4
Holz	Holzverpackungen Sonstiges Holz	1,2
Schuhe	Schuhe	0,9
Staubsaugerbeutel	Staubsaugerbeutel	0,6
Elektronikschrott	Elektronikschrott	0,8
Leder, Gummi, Kork	Leder, Gummi, Kork	0,3
Summe		**96,4**

Entsprechend der Anteile der Analysenstoffgruppen wurden insgesamt rund 96 Massenprozent einer chemischen Analyse zugeführt. Die verbleibenden vier Massenprozent beinhalten die Stoffgruppe Metalle, Styropor, Sonderabfall und sonstige Stoffe. Ausschlusskriterium waren zum einen, ein zu geringer Massenanteil für eine repräsentative Stichprobe (z.B. Stoffgruppe Styropor) und zum anderen das Fehlen einer erprobten Aufschlusstechnik für die chemische Analytik, z.B. Stoffgruppe Metalle (PRYZBILLA 2002).

Die Feinfraktion bestand v.a. aus Straßenkehricht und die Mittelfraktion überwiegend aus organischen Materialien (60 – 90%). Die Fraktion Organik setzte sich zu rund 90% aus Küchenabfällen, 9% Gartenabfällen sowie zu 1% aus Tierkadavern und sonstigen organischen Stoffen zusammen. Die Fraktion Hygieneprodukte bestand zu zwei Drittel aus

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Windeln und einem Drittel aus Hygienepapier. In der Fraktion Textilien waren rund 40% Bekleidungstextilien, 35% sonstige Textilien und der Rest Schuhe.

In Tabelle 8 sind die TOC-Werte der gut und mittelschwer biologisch abbaubaren Sortierfraktionen dargestellt. Die TOC-Werte in Tabelle 8 sind auf die Masse der einzelnen Sortierfraktionen bezogen. Die hier ermittelt TOC-Werte können nur teilweise als biologisch abbaubarer Kohlenstoff ausgewiesen werden. In der Tabelle 8 wurde in Anlehnung an DEHOUST et al. (2002) die Anteile des organisch abbaubaren Kohlenstoffs am TOC für die einzelnen Fraktionen abgeschätzt und daraus der C_{org} für die einzelnen gut und mittelschwer biologisch abbaubaren Fraktionen berechnet.

Tabelle 8: Ermittelter TOC und abgeschätzter C_{org} der einzelnen gut und mittelschwer biologisch abbaubaren Fraktionen (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003[1)])

	TOC [g/kg$_{Sortierfraktion}$ TS] [1)]	C_{org} /TOC	C_{org} [g/kg$_{Sortierfraktion}$ TS]
Feinfraktion	150	0,7	105
Mittelfraktion	387	0,75	290
Organik	430	1	430
Hygieneprodukte	463	0,9	417
Papier, Pappe, Kartonagen	374	0,99	370
Textilien	464	0,7	324
Verbundverpackungen	478	0,6	286
Staubsaugerbeutel	350	0,7	245

In Abbildung 2 sind die Wassergehalte der einzelnen Sortierfraktionen dargestellt. Der Gesamtwassergehalt des untersuchten Restmülls betrug 37 Mass-%. Hauptwasserträger waren die Analysenstoffgruppen Hygieneprodukte und Organik sowie die Mittelfraktion, die ebenfalls zu hohen Anteilen aus organischer Masse bestand (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003).

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

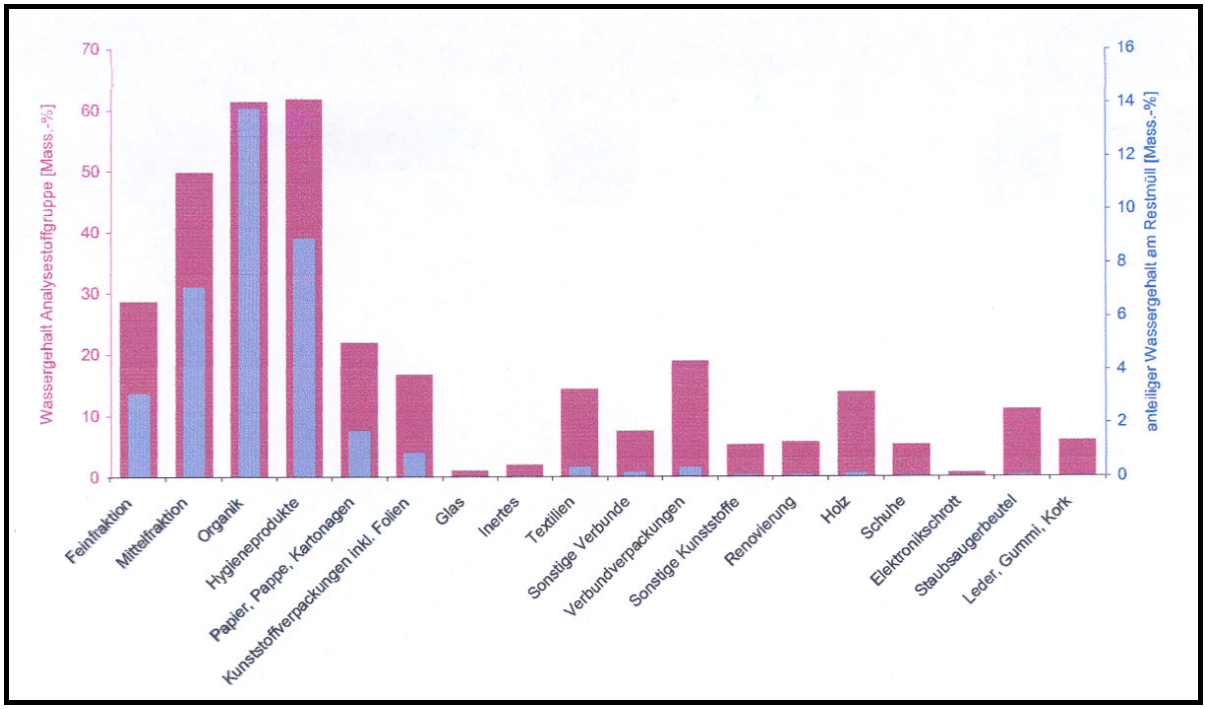

Abbildung 2: Wassergehalte der Sortierfraktionen (linke Ordinate) und deren Beitrag (rechte Ordinate) zum Gesamtwassergehalt des Restmülls (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003)

Über die Wassergehalte lassen sich die in Tabelle 7 angeführten Massenprozent$_{feucht}$ der Sortierfraktionen in Massenprozent$_{trocken}$ umrechnen. Mit diesen Massenprozent$_{trocken}$ der einzelnen Fraktionen wurden die C_{org}-Werte der Tabelle 8 von g/kg$_{Sortierfraktion}$ in g/kg$_{Restmüll}$ umgerechnet und in der Tabelle 9 dargestellt. Durch Summierung der C_{org}-Werte der einzelnen Fraktionen ergibt sich für Restmüll ein C_{org}-Wert von rund **205,9 g/kg TS**.

Tabelle 9: TOC und C_{org} der biologisch abbaubaren Fraktionen

	C_{org} [g/kg$_{Restmüll}$ TS]
Feinfraktion	12,9
Mittelfraktion	33,2
Organik	62,4
Hygieneprodukte	39,0
Papier, Pappe, Kartonagen	36,8
Textilien	12,5
Verbundverpackungen	7,0
Staubsaugerbeutel	2,1
Summe	205,9

Zieht man den ermittelten durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 63% heran, so ergibt sich ein C_{org} von rund **130 g/kg$_{Restmüll}$ FS**.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3.2.4 Zusammenfassung der Analyse des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs im Restmüll

Zusammenfassend ergeben sich die in Tabelle 10 dargestellten C_{org}-Werte, die aus Restmüllsortierungen abgeleitet wurden.

Tabelle 10: Berechneter abbaubarer organischer Kohlenstoffgehalt im Restmüll

C_{org}	Quelle
132 kg/$t_{Restmüll}$ FS (Bereich 109 bis 147 kg/$t_{Restmül}$ FS)	abgeleitet aus BAUMELER et al. 1998
128 kg/$t_{Restmüll}$ FS	abgeleitet aus NELLES et al. 1998
130 kg/$t_{Restmüll}$ FS	abgeleitet aus BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003

Die mittleren C_{org}-Werte dieser Untersuchungen liegen also in einem sehr engen Bereich von 128 bis 132 kg/$t_{Restmüll}$ FS.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

4 ENTWICKLUNG DER RESTMÜLLZUSAMMENSETZUNGEN

Zur Feststellung, ob sich der Anteil der Fraktionen mit einem hohen Anteil an biologisch abbaubaren Stoffen im Restmüll in einer Zeitreihe ab 1990 wahrnehmbar veränderte, wird auf die Materialienbände zu den Bundesabfallwirtschaftsplänen der Jahre 1992 bis 2001 zurückgegriffen (BUNDESMINISITERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE 1992, UMWELTBUNDESAMT 1995, UMWELTBUNDESAMT 1998, UMWELTBUNDESAMT 2001).

In Tabelle 11 sind die Restmüllzusammensetzungen der oben zitierten Publikationen vergleichend angeführt. Weiters ist in der Tabelle die Veränderung des Restmüllaufkommens im Zeitraum 1990 bis 1999 dargestellt.

Tabelle 11: Vergleich der Restmüllzusammensetzungen – Zeitreihe 1990 bis 1999 (Masse-%) (BUNDESMINISITERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE 1992, UMWELTBUNDESAMT 1995, UMWELTBUNDESAMT 1998, UMWELTBUNDESAMT 2001)

	1990[1)]	**1993[3)]**	**1996[4)]**	**1999[3)]**
Papier, Pappe, Karton	21,9	18,3	13,5	14
Glas	7,8	6,3	4,4	3
Metalle	5,2	4,4	4,5	4,6
Kunststoffe	9,8	9,3	10,6	15
Verbundstoffe	11,3	11,3	13,8	-
Textilien	3,3	3,1	4,1	4,2
Holz	-	-	1,1	2,6
Hygienewaren	-	-	-	12
Biogene Abfälle	29,8	34,4	29,7	17,8
Problemstoffe	1,4	1,5	0,9	0,3
Mineralische Bestandteile	7,2	7,9	3,8	-
Holz, Leder, Gummi, Sonstige	2,3	3,6	-	-
Restfraktion	-	-	13,6	26,5
Gesamtmasse Restmüll [t]	**2.060.000[2)]**	**1.488.000[5)]**	**1.291.000[5)]**	**1.315.000[5)]**

[1)]… Stadt Salzburg
[2)]… Gesamtaufkommen Restmüll in Österreich (inkl. Sperrmüll)
[3)]… Gesamt Österreich
[4)]… Länder Wien, Steiermark, Vorarlberg, Niederösterreich und Salzburg
[5)]… Gesamtaufkommen Restmüll in Österreich (exkl. Sperrmüll)

Zu den Restmüllzusammensetzungen ist anzumerken, dass lediglich für die Jahre 1993 und 1999 bundesweite Daten zur Verfügung standen. Die dargestellte Restmüllzusammensetzung für das Kalenderjahr 1990 umfasst nur die Werte der Stadt Salzburg, die Werte des Jahres 1996 umfassen die Bundesländer Wien, Steiermark, Vorarlberg, Niederösterreich und Salzburg.

Als weitere Einschränkung ist beim Datenvergleich zu berücksichtigen, dass erst seit 1991 bundesweit getrennte Massenangaben für System- und Sperrmüll vorliegen. Im Jahr 1990

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

wurde der Sperrmüll noch gänzlich dem Systemmüll zugerechnet und daher in einer Masse angegeben. Ein Vergleich mit dem Bezugsjahr 1990 ist daher nur eingeschränkt möglich.

Die vorliegenden Restmüllanalysen weisen unterschiedliche Versuchsanordnungen auf. Auch der Detailgrad der aussortierten Fraktionen ist in den einzelnen Studien unterschiedlich geregelt. Daher können auch keine Zeitreihen betreffend der Fraktionen Hygieneprodukte und Verbundstoffverpackungen erstellt werden, die durchaus auch einen Anteil an biologisch abbaubaren Stoffen aufweisen.

Aus Tabelle 11 ist ersichtlich, dass der Anteil der Fraktion „**Papier, Pappe, Karton**“ im Restmüll vom Jahr 1993 auf 1996 von 18,3 % auf 13,5 % gesunken ist und sich von 1996 bis 1999 kaum verändert hat (13,5 bzw. 14 %).

Die Fraktion „**Textilien**“ schwankt innerhalb der Zeitreihe um rund 1 %, kann also als konstanter Mengenanteil im Restmüll betrachtet werden.

Bei der Fraktion „**Biogene Abfälle/Vegetabilien**“ zeigt die Tabelle 11 im Zeitraum 1990 bis 1993 einen Anstieg von 29,8 auf 34,4%. Der Wert des Jahres 1990 wurde allerdings bei einer Sortieranalyse der Stadt Salzburg ermittelt. Untersuchungen in Oberösterreich im Jahr 1990/91 ergaben 42% biogene Abfälle im Restmüll.

Tabelle 11 zeigt einen wahrnehmbaren anteilsmäßigen Rückgang der biogenen Abfälle im Restmüll. Gleichzeitig stieg während derselben Zeitreihe die Masse der über Biotonnen getrennt gesammelten biogenen Abfälle stetig an (siehe Tabelle 12, Abbildung 3 und Abbildung 4).

Tabelle 12: Biogene Abfälle in Österreich.

	1990	**1993**	**1996**	**1999**
Masse Biotonne [t]	34.700	182.000	360.300	478.000
Masse im Restmüll [t]	613.800	511.900	383.400	234.000
Summe Biotonne und biogene Abfälle im Restmüll [t]	648.500	693.900	743.700	712.000
Anteil Biotonne [%]	5,4	26,2	48,4	67,1

Die über eine Biotonne getrennt gesammelte Menge von biogenen Abfällen im Jahr 1990 ist auf Pilotprojekte zurückzuführen. Die Werte ab 1993 betreffen bereits Mengen aus der bundesweiten Altstoffsammlung und zeigen, dass der Anteil der über eine Biotonne getrennt gesammelten biogenen Abfällen von 182.000 t im Jahr 1993 auf 478.000 t im Jahr 1999 anstieg. Nicht berücksichtigt sind dabei Bioabfälle, die einer Hausgartenkompostierung zugeführt wurden. Die Masse der mit dem Restmüll gesammelten biogenen Abfällen hingegen sank von rund 512.000 t im Jahr 1993 auf 234.000 t im Jahr 1999. Der Anteil der Biotonne an der Gesamtmenge der biogenen Abfälle (Summe Biotonne und biogene Abfälle im Restmüll) ist von 26% im Jahr 1993 auf 67% im Jahr 1999 gestiegen.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

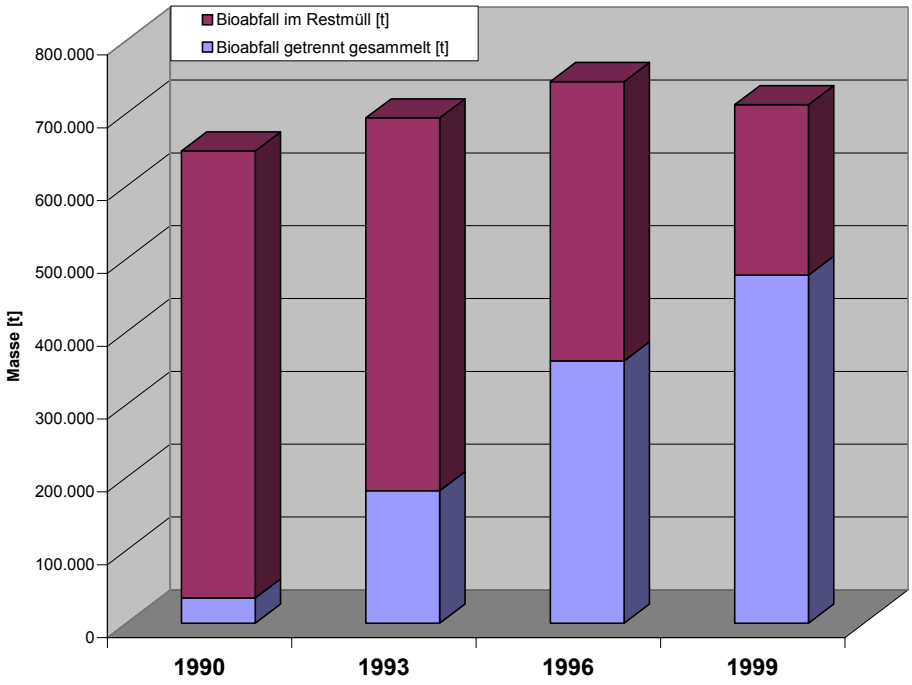

Abbildung 3: Masse der mit dem Restmüll gesammelten biogenen Abfälle und Masse der über eine Biotonne getrennt gesammelten biogenen Abfälle in Österreich.

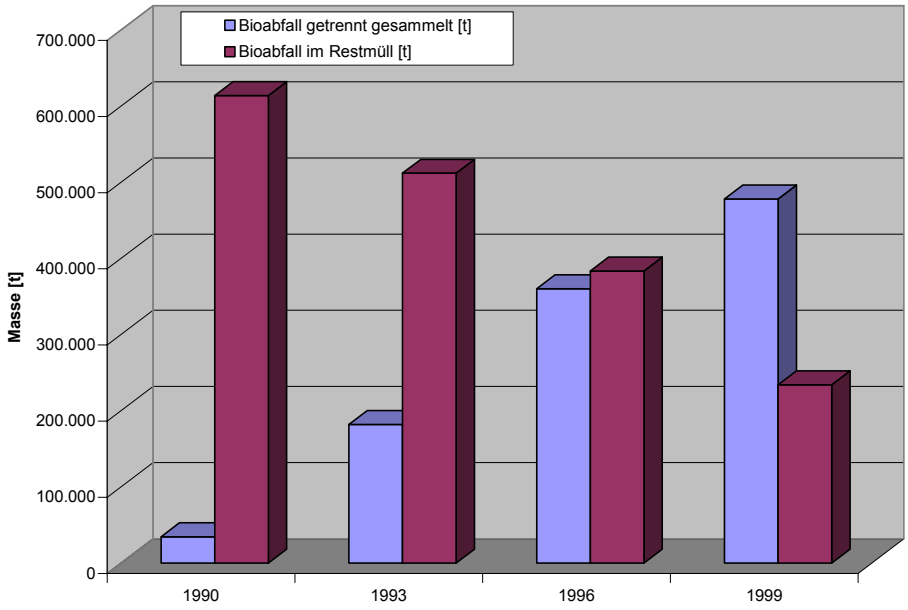

Abbildung 4: Masse der mit dem Restmüll gesammelten biogenen Abfälle und Masse der über eine Biotonne getrennt gesammelten biogenen Abfälle in Österreich.

Die Tabelle 12, Abbildung 3 und Abbildung 4 legen den Schluss nahe, dass biogene Abfälle innerhalb der Zeitreihe im Zuge der getrennten Sammlung zunehmend dem Restmüll entzogen wurden.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

5 ABLEITUNG EINER ZEITREIHE DES BIOLOGISCH ABBAUBAREN KOHLENSTOFFGEHALTES FÜR RESTMÜLL

Ausgehend von den durchgeführten Recherchen wurde eine Zeitreihe für den biologisch abbaubaren Kohlenstoff im Restmüll für den Zeitraum 1960 bis 2003 abgeleitet (siehe Tabelle 13).

Ausgangspunkt war der Untersuchungszeitraum von BAUMELER et al. 1998 und NELLES et al. 1998. BAUMELER et al. 1998 haben für ihre Untersuchungen die Restmüllsortieranalysen des Jahres 1996 verwendet. Aus BAUMELER et al. 1998 lässt sich ein C_{org}[2] von 109 bis 147 $g/kg_{Restmüll}$ FS ableiten. Da der Kohlenstoffgehalt der Fraktion biogene Abfälle im Vergleich zu den Untersuchungen von NELLES et al. 1998 und von BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003 niedrig angesetzt wurde, dürfte der obere Wertebereich von 147 $kg/t_{Restmüll}$ FS zutreffender sein. Zieht man durchschnittliche biologisch abbaubare Fraktionskohlenstoffgehalte aus NELLES et al. 1998 und BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003 heran, so errechnet sich für die in BAUMELER et al. 1998 herangezogene Restmüllzusammensetzung ein C_{org} von rund 140 $kg/t_{Restmüll}$ FS.

In Tabelle 13 wurde für das Jahr 1996 daher ein C_{org} von 140 $g/kg_{Restmüll}$ FS angesetzt

Aus den Untersuchungen von NELLES et al. 1998 am Restmüll der Bezirke Mürzzuschlag und Bruck/Mur im Zeitraum Sommer 1996 bis Frühjahr 1997 errechnet sich ein C_{org} von rund 130 $g/kg_{Restmüll}$ FS.

Für das Jahr 1997 wurde daher in Tabelle 13 ein C_{org} von 130 $g/kg_{Restmüll}$ FS angesetzt.

Die Entwicklung des C_{org} wurde aus der Veränderung der Restmüllzusammensetzung in Tabelle 11 und den in Kapitel 4 angeführten Literaturdaten abgeleitet. Betrachtet man die Zeitreihe der Sortieranalysen in Tabelle 11, so erkennt man, dass sich die Anteile der biologisch abbaubaren Fraktionen „Papier, Pappe, Karton“ und „Biogene Abfälle“ im Restmüll im Zeitraum 1993 bis 1999 reduziert haben. Die Fraktion „Textilien“ schwankt innerhalb der Zeitreihe um rund 1 %, kann also als konstanter Mengenanteil im Restmüll betrachtet werden. Die Entwicklung der übrigen biologisch abbaubaren Fraktion, wie Hygieneware und Verbundverpackung, lässt sich aus der Tabelle 11 nicht ablesen, da unterschiedliche Sortiermethodiken zur Anwendung kamen, wodurch diese Abfälle in der Zeitreihe unterschiedlichen Fraktionen zugeordnet wurden. Zur Abschätzung der zeitlichen Entwicklung wurden daher nur die Veränderungen der Fraktionen „Papier, Pappe, Karton“ und „Biogene Abfälle“ herangezogen. Die dadurch entstehende Ungenauigkeit dürfte sich aber dennoch in Grenzen halten, da diese beiden Fraktionen einen hohen Anteil am biologisch abbaubaren Kohlenstoff des Restmülls haben und einen deutlichen anteilsmäßigen Rückgang im Restmüll aufwiesen. Zudem wurden die durchgeführten Berechnungen mit vorhandenen Literaturdaten abgestimmt.

Der Rückgang der Fraktion „Biogene Abfälle“ im Restmüll und die Zunahme der getrennt gesammelten biogenen Abfälle ist in der Tabelle 12, der Abbildung 3 und der Abbildung 4 ersichtlich. Die Fraktion „Biogene Abfälle“ hat von 1993 bis 1996 von 34,4 auf 29,7% und die Fraktion „Papier, Pappe, Karton“ von 18,3 auf 13,5% abgenommen. Zieht man die Untersuchungen von NELLES et al. 1998 und BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003 heran, so ergibt sich für die Fraktion „Papier/Pappe“ ein biologisch abbaubarer Kohlenstoffgehalt von rund 310 g/kg_{Papier} FS und für die Fraktion „Biogene Abfälle“ ein biologisch abbaubarer Kohlenstoffgehalt von rund 200 $g/kg_{Bioabfall}$ FS. Aus dem prozentuellen Rückgang der beiden Fraktionen im Zeitraum 1993 bis 1996 und dem C_{org} der beiden Fraktion lässt sich eine Reduktion des biologisch abbaubaren Kohlenstoffgehaltes im

[2] Biologisch abbaubarer Kohlenstoff

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Restmüll um rund 24 g/kg$_{Restmüll}$ FS errechnen. Für den Zeitraum 1996 bis 1999 ergibt die Abnahme dieser beiden Fraktionen eine weitere Verringerung um 22 g/kg$_{Restmüll}$ FS.

Für 1993 errechnet sich dadurch ein C_{org} von 164 g/kg$_{Restmüll}$ FS. Dieser Wert stimmt auch recht gut mit dem Literaturwert von ERHART-SCHIPPEK 1994 überein, der in seinen Berechnungen für das Jahr 1993 einen C_{org} von 170 g/kg$_{Restmüll}$ angesetzt hat.

Für das Jahr 1993 wurde daher ein C_{org} von 170 g/kg$_{Restmüll}$ angesetzt.

Für das Jahr 1999 errechnet sich aus den prozentuellen Änderungen der Restmüllzusammensetzung (Verringerung der Fraktionen „Biogene Abfälle“ und „Papier, Pappe, Karton“) entsprechend der Tabelle 11 ein C_{org} von 118 g/kg$_{Restmüll}$ FS.

Für das Jahr 1999 wurde daher ein C_{org} von 120 g/kg$_{Restmüll}$ FS angesetzt.

Von einer weiteren Abnahme des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs im Restmüll in den Jahren 2000 bis 2003 wurde in weiterer Folge nicht ausgegangen, da sich die getrennte Sammlung weitgehend etabliert hat und davon auszugehen ist, dass sich die Restmüllzusammensetzung ab 1999 nicht deutlich verändert hat.

Für die Ableitung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs im Restmüll der Jahre 1990 bis 1992 wurde auf Literaturwerte zurückgegriffen, da sich die Restmüllzusammensetzung in Tabelle 11 nur auf eine Sortieranalyse der Stadt Salzburg stützte. TABASARAN-RETTENBERGER 1987 führen in ihrer Studie einen durchschnittlichen C_{org} von 200 g/kg$_{Restmüll}$ an. Dieser Wert erscheint für das Jahr 1990 plausibel, da erst Anfang der 90iger Jahre mit einer intensiveren getrennten Sammlung von biogenen Abfällen begonnen wurde.

Für das Jahr 1990 wurde daher ein C_{org} von 200 g/kg$_{Restmüll}$ FS festgelegt.

Für die Zeit vor 1990 findet man eine Abschätzung in HACKL & MAUSCHITZ 1999.

Tabelle 13: Abgeleitete Zeitreihe des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs von 1990 bis 2003

Jahr	Biologisch abbaubarer Kohlenstoff (C_{org}) [g/kg FS]
1960 - 1969	230
1970 - 1979	220
1980 - 1989	210
1990	200
1991	190
1992	180
1993	170
1994	160
1995	150
1996	140
1997	130
1998	130
1999	120
2000	120
2001	120
2002	120
2003	120

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

6 LITERATURVERZEICHNIS

BAUMELER, A.; BRUNNER, P.H.; FEHRINGER, R.; KISLIAKOVA, A., SCHACHERMAYER, E. (1998), Reduktion von Treibhausgasen durch Optimierung der Abfallwirtschaft (CH4): Schriftenreihe der Energieforschungsgemeinschaft im Verband der E-Werke Österreichs, Bestell-Nr.: 650/457

BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.) (2003): Zusammensetzung und Schadstoffgehalte von Siedlungsabfällen. Augsburg.

BUNDESMINISITERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (1992): Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 1992 – Band 3 Kommunale Abfälle.

DEHOUST, G.; GEBHARDT, P.; GÄRTNER, S. (2002): Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung. Im Auftrag der Interessensgemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD). Darmstadt.

ERHART-SCHIPPEK, W. (1994): Gashaushalt, Deponiegasnutzung und Emissionsminderung an Hausmülldeponien in der Steiermark. Schriftenreihe der FA 1c. Amt der steiermärkischen Landesregierung.

HACKL, A.; MAUSCHITZ, G. (1999): Beiträge zum Klimaschutz durch nachhaltige Restmüllbehandlung (Klimarelevanz der Abfallwirtschaft II). Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend, und Familie Sektion III. Band 19/1999.

HUBER, H. (1995): Wasser-, Gas- und Stoffhaushalt der Mülldeponie. Diplomarbeit. Technische Universität Wien.

NELLES, M.; HARANT, M.; HOFER, M.; LORBER, K. E.; RANINGER, B. (1998): Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung zur Umsetzung der Deponieverordnung. IED Schau. Schriftenreihe Abfall – Umwelt. Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik der Montanuniversität Leoben.

ÖWAV (2002): EPER. Abschätzungen von Emissionen in Luft und Wasser. Reststoff- und Massenabfalldeponie. Arbeitsbehelf des ÖWAV.

PRZYBILLA, I. (2002): Der lange Weg zum Messwert: Probenahme und Probenvorbereitung. In: Restmüllanalysen – eine Grundlage eines nachhaltigen Stoffstrommanagements der Abfallwirtschaft. Seite 41 bis 47. Bayrisches Landesamt für Umweltschutz. Augsburg.

RINGHOFER J., CATE F.M., HELLER W. (1991): Deponiegas Niederösterreich - Gastechnische Untersuchungen ausgewählter Hausmülldeponien in Österreich. Studie erstellt im Auftrag des Amtes der NÖ Landesregierung Baudirektion - Rohstoffforschung

TABASARAN, O; RETTENBERGER, G. (1987): Grundlagen zur Planung von Entgasungsanlagen. In: Müll – Handbuch. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

UMWELTBUNDESAMT (1995): Nicht Gefährliche Abfälle Teil A: Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen – Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 1995. Monographien Bd. 64.

UMWELTBUNDESAMT (1998): Nicht Gefährliche Abfälle in Österreich – Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 1998. Monographien Bd. 103.

UMWELTBUNDESAMT (2001): Nicht Gefährliche Abfälle in Österreich – Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2001. Monographien Bd. 140.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Publikationen des Umweltbundesamtes, Wien

Jahr/Year: 2003

Band/Volume: BE-236

Autor(en)/Author(s): Rolland Christian, Scheibengraf Martin

Artikel/Article: Biologisch abbaubarer Kohlenstoff im Restmüll. 1-20