

Im Auftrag des Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Fossiler Kohlenstoffanteil im verbrannten Abfall 1992 - 2012

Errechnung einer Zeitreihe aus der Verknüpfung der Rauchgasmessung 2010/11
und der erhobenen Kehrrechtzusammensetzung 1992, 2002, 2012



Kamine des ICTR Giubiasco

Münsingen 20. August 2014



Abfalltechnologie + Energiekonzepte

Beratungen • Expertisen • Projektmanagement • Engineering

Auftraggeber **Bundesamt für Umwelt, Abteilung Klima**
Sektion Klimaberichterstattung und -anpassung
Papiermühlestrasse 172
3063 Ittigen

Tel 058 464 23 80
Fax 058 462 99 81

vertreten durch Paul Filliger

Auftragnehmer **Rytec AG**
Alte Bahnhofstrasse 5
Postfach 1139
3110 Münsingen

Tel 031 724 33 33
Fax 031 724 33 35

Autor Raphael Fasko

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Verzeichnis

1 Ausgangslage	3
2 Auftrag	3
3 Methodik und Daten	4
3.1 Beziehungsmodell zwischen fossilem Kohlenstoff im Abfall und im Rauchgas.....	4
3.2 Ermittlung des fossilen Kohlenstoffanteils im verbrannten Abfall	5
3.2.1 Kommunaler Kehricht.....	5
3.2.2 Gewerbeabfall, Sperrgut & Klärschlamm	7
4 Resultate	9
4.1 Anteil fossiler Kohlenstoff am verbrannten Kehricht.....	9
4.2 Verhältnis zur Rauchgasmessung und Zeitreihe.....	10
5 Diskussion Resultate und Sensitivität	11
Quellenverzeichnis	12
Anhang A	13
Anhang B	15

1 Ausgangslage

Im nationalen Treibhausgasinventar muss der fossile Anteil CO₂ im verbrannten Kehricht als Zeitreihe angegeben werden. Die aktuellen Werte im Inventar basieren auf einer Isotopenmessung aus dem Jahre 2010/2011 (EMPA 2011). Die Zeitreihe bis 2003 wurde aufgrund von Annahmen der Entwicklung der Kehrichtzusammensetzung extrapoliert. Die neue Studie zur Kehrichtzusammensetzung (BAFU 2013, 3. Wiederholung seit 1992) widerspricht jedoch diesen Annahmen zur Zusammensetzung. Nun soll die Zeitreihe des fossilen CO₂-Anteils im Kehricht auf Basis der aktuellen Datenlage neu gerechnet werden.

2 Auftrag

Es soll ein einfaches Modell zur Verknüpfung des gemessenen fossilen CO₂-Anteils 2010/11 mit der Erhebung zur Abfallzusammensetzung 2012 entwickelt werden.

Aufgrund dieses Modells sollen die fossilen Anteile zu den Zeitpunkten der früheren Abfallzusammensetzungsstudien 2001/02 und 1992/93 geschätzt werden.

Das Ziel ist es, eine Zeitreihe des fossilen Anteils von 1990 bis 2012 aufzustellen, welche in die Berechnungen des Treibhausinventars der Schweiz einfließen kann.

3 Methodik und Daten

3.1 Beziehungsmodell zwischen fossilem Kohlenstoff im verbrannten Abfall und im Rauchgas

Vorhanden ist eine Messung zum Anteil des fossilen Kohlenstoffes im Rauchgas. Dieser Wert ist in Prozent und bezieht sich auf die totale Menge CO₂ im Rauchgas:

$$\text{Anteil foss. CO}_2 \text{ im Rauchgas} = \text{foss. CO}_2 \text{ im Rauchgas} / \text{totales CO}_2 \text{ im Rauchgas}$$

Die Studie der Kehrrechtzusammensetzung ermittelt die Anteile der unterschiedlichen Abfallfraktionen am feuchten, kommunal gesammelten Kehrrecht.

Um eine Beziehung zwischen den Studien herstellen zu können, wird über Literaturangaben der fossile Kohlenstoffanteil am Gesamtgewicht des verbrannten Abfalls ermittelt:

$$\text{Anteil foss. C im Abfall} = \text{foss. C im Abfall} / \text{totale Menge verbrannter Abfall}$$

Das Verhältnis zwischen dem fossilen C-Anteil im Kehrrecht und dem Anteil fossilen CO₂ in den Rauchgasen wird über die letzten 30 Jahre als konstant angenommen. Relevant für diese Annahme sind die Prozesse, welche zwischen der Inputerhebung und der Outputmessung stattfinden. Dies sind vornehmlich die Verbrennung und Rauchgasreinigung. Sie sind beteiligt an der Überführung des C aus dem Abfall in CO₂ im Rauchgas. Es wird angenommen, dass in diesen Bereichen über den gesamten KVA-Park Schweiz keine strukturellen Veränderungen stattgefunden haben, welche einen relevanten Einfluss auf das Verhältnis haben. Dies ist auch konsistent mit dem im Treibhausinventar als konstant angenommenen Transferkoeffizienten von C im Abfall zu C im Rauchgas von 0.99.

$$\text{Anteil foss. CO}_2 \text{ im Rauchgas} / \text{Anteil foss. C im Abfall} = \text{konstant}$$

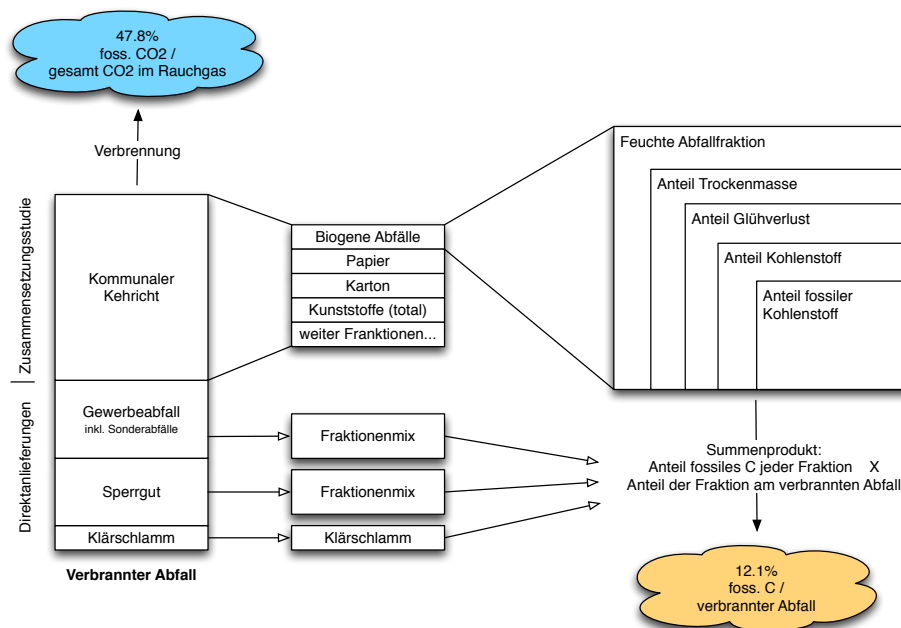


Abbildung 1: Beziehung des fossilen Kohlenstoffanteils im Rauchgas und des Anteils am verbrannten Abfall (2012). Quellen: Fossiles CO₂ im Rauchgas, EMPA 2011; Fossiles C im Abfall, dieser Bericht.

3.2 Ermittlung des fossilen Kohlenstoffanteils im verbrannten Abfall

Die Gesamtmenge des in KVA verbrannten Abfalls wird der Mengenerhebung des BAFU (Hügi laufend) und der Abfallstatistik 2002 (BUWAL 2004) entnommen. Sie wird für die folgenden Berechnungen in "kommunal gesammelten Kehricht", "Gewerbeabfälle (inkl. Sonderabfälle)", "Sperrgut" und "Klärschlamm" unterteilt (siehe Abbildung 1).

Nach der jährlichen Mengenerhebung des BAFU (Hügi) waren 2012 50% der verbrannten Abfälle kommunal gesammelter Kehricht (Tab. 1, Spalte 1). Nach Angaben von Herrn Hügi kann dieser Wert über die letzten 30 Jahre als konstant angenommen werden. Für den in KVA verbrannten Klärschlamm existiert eine Zeitreihe (Tab. 1, Zeile 5). Das Verhältnis Gewerbeabfall zu Sperrgut wurde nach Anfrage bei 3 KVA Betreibern (KVA Hinwil bzw. ZAV-Daten, KVA Niederurnen und KVA Oftringen) mit 50% geschätzt und als konstant angenommen (Tab. 1, Spalte 2). Die Zahlen für den verbrannten Abfall (Tab. 1, Zeile 6) entstammt dem National Inventory Report (NIR 2014, Tabelle 3-18).

Tabelle 1: Verbrannte Mengen und Aufteilung in 4 Hauptfraktionen

	Spalte 1	Spalte 2	2012	2002	1992
Kommunaler Kehricht	50%		1'824 kt	1'502 kt	1'155 kt
Gewerbeabfall	50%	50%	912 kt	751 kt	578 kt
Sperrgut		50%	912 kt	751 kt	578 kt
Klärschlamm			192 kt	26 kt	0 kt
Verbrannter Abfall			3'840 kt	3'030 kt	2'310 kt

3.2.1 Kommunaler Kehricht

Die Zusammensetzungsstudien des BAFU beziehen sich nur auf den kommunal gesammelten "Abfallsack". Für dessen einzelne Fraktionen (detaillierter Fraktionenbeschrieb: Anhang A) wurden Werte des fossilen Kohlenstoffanteils gesucht. Wenn sich die Fraktionenanteile über die Jahre ändern, kann dadurch die Veränderung des gesamten fossilen Kohlenstoffanteils im kommunalen Kehricht gerechnet werden.

In einer Studie des Öko-Instituts (Öko-Inst 2002) wurden Zahlen zum Glühverlust, zum Anteil Kohlenstoff und zum Anteil fossilen Kohlenstoffs einzelner Kehrichtfraktionen gefunden. Die Fraktionen wurde so gut wie möglich denjenigen der Schweizer Zusammensetzungsstudien zugeordnet. Ergänzt wurden sie durch Daten zum Wassergehalt einzelner Fraktionen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (BayLa 2003) und durch eigene Abschätzungen.

Es wurde überprüft, ob die verwendeten Daten zum fossilen C-Anteil in der Spannbreite der IPCC Guidelines (IPCC 2006) und in der Nähe des Standardwertes liegen.

Tabelle 2: Werte für die einzelnen Kehrichtfraktionen

	Trockensubstanz von Gesamtgewicht ¹	Glühverlust von Trockensubstanz ²	Kohlenstoff von Glühverlust ²	Fossiles C von C ²	Fossiles C am Feuchtgewicht	Bemerkungen
biogene Abfälle	40%	70%	50.7%	0%	0.00%	Fraktion "Organik" genommen
Papier	90% ³	86%	48.6%	1%	0.38%	Papier und Karton = eine Fraktion (Öko-Inst 2002)
Karton	78%	86%	48.6%	1%	0.33%	gleichen Wert für beide Fraktionen genommen
Kunststoffe (total)	95%	99%	82.7%	95%	73.89%	
Verbundwaren	60%	81%	55.0%	39%	10.28%	Mischwert: 30% "Verbundstoffe", 40% "Windeln", 30% "Mittelmüll"
Verbundverpackungen	81%	80%	59.3%	40%	15.37%	
Mineralien	98%	1%	48.2%	2%	0.01%	Fraktion "Inertstoffe" genommen
Glas	99%	1%	47.0%	2%	0.01%	
Textilien	86%	94%	51.1%	35%	14.46%	
organ. Naturprodukte	94%	95% ⁶	48.0% ⁶	5% ⁶	2.14%	Werte zwischen "Leder" und "Holz" genommen
Eisen	97% ⁶	9.5%	48.2%	2%	0.09%	
Nichteisenmetalle	97% ⁶	50%	48.2%	2%	0.47%	Fraktion "Aluminium" genommen
Elektronik/Elektrik	96% ⁶		44.4% ^{1,5}	95% ⁶	40.49%	Wassergehalt zwischen Plastik und Metall, C-Anteil wie Plastik
Batterien					0.00%⁴	
andere Sonderabfälle	30% ⁶	85%	69.7%	60% ⁶	10.63%	Fraktion "Problemstoffe" genommen
Rest < 8 mm	72%	60%	49.9%	0.00%	0.00%	Fraktion "Feinmüll" genommen

¹ Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen (BayLa 2003)

² Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung (Öko-Inst 2002)

³ IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2006)

⁴ Carbon Balances and Energy Impacts of the Management of UK Wastes (Defra 2006)

⁵ Anteil Kohlenstoff von Trockensubstanz

⁶ Schätzungen Rytec

Nun lässt sich anhand der Kehrlichzusammensetzungsdaten (BAFU 2013) der fossile C-Anteil der kommunalen Kehrlichfraktion für 2012 bis 1992 berechnen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Fossiler Kohlenstoff im Kommunalen Kehrlich 2012-1992

	FossC/ Fraktion- feucht	2012		2002/01		1993/92	
		Anteile Kehrlich- feucht	FossC/ Kehrlich- feucht [kg/t]	Anteile Kehrlich- feucht	FossC/ Kehrlich- feucht [kg/t]	Anteile Kehrlich- feucht	FossC/ Kehrlich- feucht [kg/t]
biogene Abfälle	0.00%	33.2%	0.0	28.5%	0.0	22.6%	0.0
Papier	0.38%	13.4%	0.5	16.8%	0.6	21.0%	0.8
Karton	0.33%	3.8%	0.1	4.1%	0.1	7.0%	0.2
Kunststoffe (total)	73.89%	12.9%	95.3	14.4%	106.0	14.0%	103.1
Verbundwaren	10.28%	12.5%	12.8	12.1%	12.5	8.0%	8.2
Verbundverpackungen	15.37%	5.5%	8.5	4.1%	6.2	3.0%	4.6
Mineralien	0.01%	6.3%	0.0	5.2%	0.0	6.0%	0.0
Glas	0.01%	3.7%	0.0	4.3%	0.0	3.0%	0.0
Textilien	14.46%	3.2%	4.6	2.9%	4.2	3.0%	4.3
organ. Naturprodukte	2.14%	1.8%	0.4	2.1%	0.4	5.0%	1.1
Eisen	0.09%	1.1%	0.0	1.6%	0.0	2.0%	0.0
Nichteisenmetalle	0.47%	1.1%	0.1	1.2%	0.1	1.0%	0.0
Elektronik/Elektrik	40.49%	0.6%	2.3	0.6%	2.4	nicht erhoben	
Batterien	0.00%	0.0%	0.0	0.1%	0.0	nicht erhoben	
andere Sonderabfälle	10.63%	0.2%	0.2	0.2%	0.2	nicht erhoben	
Rest < 8 mm	0.00%	0.7%	0.0	2.0%	0.0	4.6%	0.0
Summe total Kehrlich:		100.0%	125	100.0%	133	100.0%	122
FossC / Kehrlich feucht [%]:		12.5%		13.3%		12.2%	

3.2.2 Gewerbeabfall, Sperrgut & Klärschlamm

Die Öko-Institut Studie (Öko-Inst 2002) führt die Zusammensetzung des Gewerbeabfalls und des Sperrgutes auf einheitliche Unterfraktionen zurück (Tabelle 4). Somit kann analog zum kommunalen Kehrlich (Hausmüll) ein Wert für den fossilen C-Anteil dieser Mengen errechnet werden. Dieser Wert wird über die letzten 30 Jahre als konstant angenommen.

Für Klärschlamm wird nach IPCC aktuell kein fossiles C angenommen und in dieser Studie ebenso gehandhabt. Diese Annahme ist jedoch eine Vereinfachung. Es gibt Studien, welche fossile C-Anteile im Klärschlamm in der Grössenordnung von 1-7% nachweisen (Law 2013).

Tabelle 4: Zusammensetzung der Abfallarten nach Fraktionen (Tabelle aus Öko-Inst 2002)

Fraktion	Hausmüll	Sperrmüll	Gewerbeabfälle
Papier	10,2 %	2,0 %	13,4 %
Glas	4,0 %	0,0 %	0,2 %
Fe	4,0 %	8,0 %	1,1 %
Al	0,4 %	0,0 %	0,0 %
Kunststoffe	7,3 %	12,0 %	19,5 %
Organik	26,0 %	2,0 %	22,0 %
Holz	3,3 %	49,0 %	11,5 %
Verpackungsverbunde	0,7 %	0,0 %	0,0 %
Verbundstoffe	5,0 %	0,0 %	1,2 %
Windeln	8,0 %	0,0 %	0,0 %
Inertstoffe	5,1 %	4,0 %	7,1 %
Textilien	3,0 %	5,0 %	1,1 %
Mittelmüll	10,9 %	18,0 %	12,0 %
Feinmüll	11,0 %	0,0 %	11,0 %
Leder	0,5 %	0,0 %	0,0 %
Problemstoffe	0,6 %	0,0 %	0,0 %

Aus der Verrechnung der Mengenanteile in Tabelle 4, den Trockensubstanzanteilen (siehe Anhang B) und den Angaben aus der Ökoinstitut Studie (Öko-Inst 2002) zu den entsprechenden Fraktionen ergibt sich:

- **Gewerbeabfall** = **15.6 % fossiler Kohlenstoff / Gewerbeabfall_(feucht)**
- **Sperrmüll** = **10.6 % fossiler Kohlenstoff / Sperrgut_(feucht)**
- **Klärschlamm** = **0.0 % fossiler Kohlenstoff / Klärschlamm_(feucht)**

4 Resultate

4.1 Anteil fossiler Kohlenstoff am verbrannten Kehricht

Aufgrund der veränderten Zusammensetzung des kommunalen Kehrichts und der Verschiebung zwischen den Abfallarten ergibt sich folgende Zeitreihe für den Anteil fossilen Kohlenstoffes am Gesamtgewicht des verbrannten Abfalls in der Schweiz:

Tabelle 5: Fossiler C-Anteil am verbrannten Abfall in der Schweiz 2012-1993

	2012		2001/02		1992/93	
	Anteile Kehricht-feucht	FossC/ Fraktion-feucht	Anteile Kehricht-feucht	FossC/ Fraktion-feucht	Anteile Kehricht-feucht	FossC/ Fraktion-feucht
Kommunaler Kehricht	47.5%	12.5%	49.6%	13.3%	50.0%	12.2%
Gewerbeabfälle	23.7%	15.6%	24.8%	15.6%	25.0%	15.6%
Sperrgut	23.7%	10.6%	24.8%	10.6%	25.0%	10.6%
Klärschlamm	5.1%	0%	0.9%	0%	0%	0%
Total verbrannter Abfall:	100%	12.1%	100%	13.1%	100%	12.7%

Der Anteil an fossilem C wird von der Kunststofffraktion dominiert (siehe Tabelle 3). Die vorhandenen Daten lassen keinen Schluss darauf zu, wann der Höhepunkt des Kunststoffanteils im Abfall genau war. Ein Gespräch mit Herr Hügi, dem Verantwortlichen für Abfallmengen und Zusammensetzung beim BAFU hat ergeben, dass das Kunststoffmaximum nach seiner Erfahrung als Näherung gut um das Jahr 2000 angenommen werden kann.

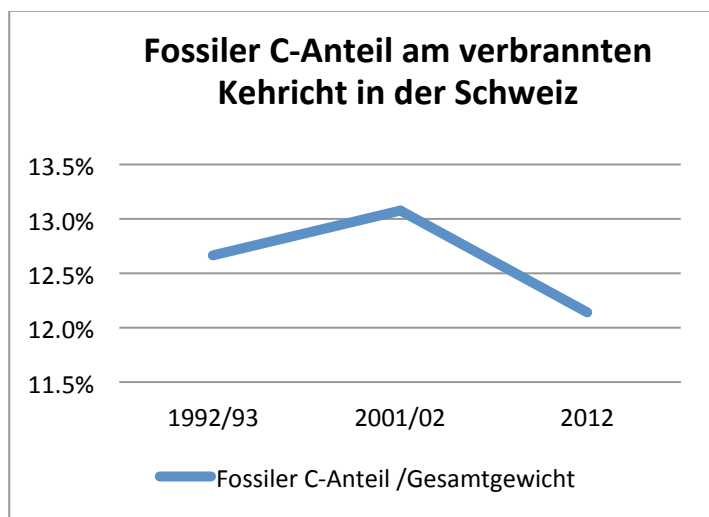


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf des fossilen C-Anteils im verbrannten Kehricht

4.2 Verhältnis zur Rauchgasmessung und Zeitreihe

Für den Vergleich des fossilen C aus der Kehrrietzusammensetzungsstudie des Jahres 2012 mit fossilem CO₂ im Rauchgas wird die Messung von Mohn (EMPA 2011) von 2010/11 als Näherung für das Jahr 2012 herbeigezogen. Das Verhältnis zwischen der fossilen CO₂-Messung und dem errechneten fossilen C-Anteil im verbrannten Abfall für 2012 ist:

$$\text{Anteil foss. CO}_2 \text{ am CO}_2 \text{ im Rauchgas}_{2012} / \text{Anteil foss. C im Abfall}_{2012} = x$$

$$47.80\% / 12.14\% = 3.94$$

Der Faktor beinhaltet neben der veränderten molekularen Form (C -> CO₂) auch die Veränderung der Bemessungsgrundlage (Abfall_{feucht} -> CO₂ im Rauchgas). Darin enthalten sind Aspekte wie Wassergehalt, Glühverlust, C-Anteil am Glühverlust und molekulare Form.

Dieser Faktor ist konstant und somit kann der fossile CO₂-Anteil im Rauchgas für die Jahre 2002 und 1992 berechnet werden. Da über die Stärke und zeitliche Verteilung der Zu- und Abnahme des Kunststoffanteils im kommunalen Kehrrietz nichts genaues bekannt ist, wird eine lineare Interpolation zwischen den Stützpunkten als adäquate Näherung angenommen. Um auch eine Aussage für 1990 machen zu können wird der Trend zwischen 2002 und 1992 bis 1990 fortgeschrieben. Dies aufgrund der Annahme, dass der Kunststoffanteil im Abfall über viele Jahrzehnte entsprechend der Kunststoffproduktion am zunehmen war.

Tabelle 6: Zeitreihe Anteil fossiles C am verbrannten Abfall und Anteil fossiles CO₂ am CO₂ im Rauchgas

	FossC / Verbrannter Abfall	FossCO ₂ / CO ₂ im Rauchgas
1990	12.6%	49.7%
1991	12.7%	49.9%
1992	12.7%	50.0%
1993	12.7%	50.2%
1994	12.8%	50.4%
1995	12.8%	50.5%
1996	12.9%	50.7%
1997	12.9%	50.8%
1998	12.9%	51.0%
1999	13.0%	51.1%
2000	13.0%	51.3%
2001	13.1%	51.5%
2002	13.1%	51.6%
2003	13.0%	51.2%
2004	12.9%	50.9%
2005	12.8%	50.5%
2006	12.7%	50.1%
2007	12.6%	49.7%
2008	12.5%	49.3%
2009	12.4%	48.9%
2010	12.3%	48.6%
2011	12.2%	48.2%
2012	12.1%	47.8%

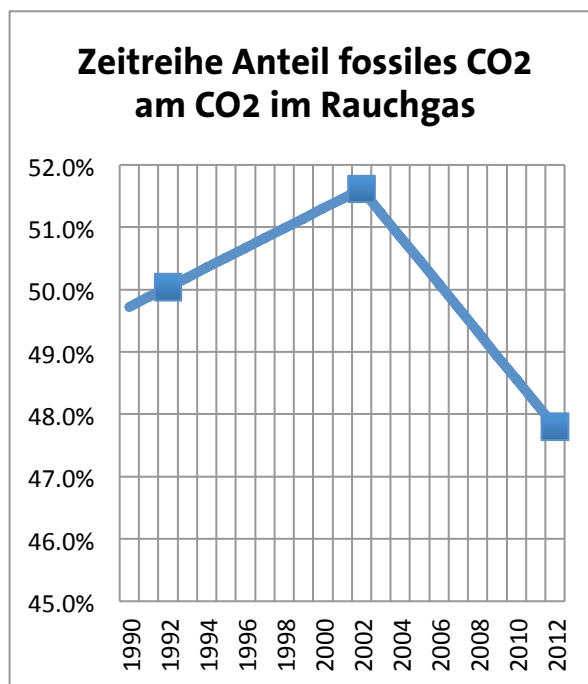


Abbildung 3: Zeitreihe des Anteils von fossilem CO₂ am CO₂ im Rauchgas

5 Diskussion Resultate und Sensitivität

Die in der Literatur gefundenen Werte zum fossilen Kohlenstoffanteil von einzelnen Abfallfraktionen zeigen eine grosse Spannweite. Der Grund dafür ist, dass die Fraktionen je nach Studie unterschiedlich definiert werden und je nach Land auch effektiv etwas andere Eigenschaften haben. Die Verfügbarkeit und hauptsächliche Verwendung von Daten aus Deutschland, mit sehr ähnlich definierten Fraktionen, ist für diese Studie somit ein Glücksfall. Zudem liegen die Daten der deutschen Studie (BayLa 2003) im Wertebereich der in den IPCC Guidelines (IPCC 2006, Chapter 2, Table 2.5) ermittelten Bandbreite für die einzelnen Fraktionen.

Bei der Berechnung des fossilen Kohlenstoffanteils im Abfall aus Literaturangaben kommt es natürlicherweise zu Abweichungen gegenüber der Realität. Dies hat jedoch für die Berechnung der Zeitreihe des fossilen CO₂-Anteils geringe Auswirkungen. Das Modell wird mit der gleichen methodischen Unschärfe und einem konstanten Beziehungsfaktor CO₂-_{fossil}/C_{fossil} über die 30 Jahre angewendet und dadurch entsteht auf jeden Fall eine konsistente Zeitreihe.

In der Studie des Deutschen Umweltbundesamtes (UBA 2007) wird ein fossiler Kohlenstoffanteil am verbrannten Abfall von 9.5% (CH: 12.6%) errechnet. Das entspricht einer Abweichung von gut 20% zum hier errechneten Wert. Eine Norwegische Studie (AN 2010) gibt für den kommunalen Kehricht 17.7% (CH: 12.3%) fossilen Anteil an, was einer Abweichung von gut 40% in die andere Richtung entspricht.

Von Vorteil ist, dass die meisten Daten zum fossilen C-Anteil der einzelnen Abfallfraktionen aus derselben Studie stammen und nur wenige Lücken gefüllt werden mussten. So haben die Angaben zu den einzelnen Fraktionen dieselbe Bemessungsgrundlage. Dadurch wird die Veränderung in der Abfallzusammensetzung konsistent in einen veränderten C-Anteil übersetzt.

Zur Einordnung der Güte der in dieser Studie verwendeten Faktoren wurde aus ihnen die Menge Kohlenstoff pro verbranntem Abfall (ohne Klärschlamm) berechnet. Dies ergibt 319 kg C / t Abfall_{feucht}. Zum Vergleich gibt es in der Studie Chemische Zusammensetzung verbrannter Siedlungsabfälle (BAFU 2006) einen Messwert von 330 kg C / t Abfall_{feucht}. Der Klärschlamm wurde ausgenommen, da die Probenahme auf der KVA Thurgau erfolge, welche keinen Klärschlamm verbrennt. Im Klimainventar wird aus einer Herleitung von Peter Gerber für das Jahr 2004 ein Wert von 350 kg C / t Abfall_{feucht} angenommen.

Quellenverzeichnis

- AN 2010 AvfallNorge, Fornybar andel i avfall til norske forbrenningsanlegg i 2009 (Abfall Norwegen, Erneuerbare Anteil in Abfallverbrennungsanlagen im Jahr 2009), AvfallNorge 2010
- BAFU 2006 Chemische Zusammensetzung verbrannter Siedlungsabfälle, Untersuchungen im Einzugsgebiet der KVA Thurgau, Bern 2006
- BAFU 2013 Erhebung der Kehrichtzusammensetzung 2012, Bundesamt für Umwelt, Bern 2013
- BayLa 2003 Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2003
- BUWAL 2004 Umwelt-Materialien Nr. 186, Abfall, Abfallstatistik 2002 – Mit Daten der KVA-Planung 2003, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 2004
- Defra 2006 Carbon Balances and Energy Impacts of the Management of UK Wastes, Defra R&D Project WRT 237, Final Report, by ERM and Golder Associates, 2006
- EMPA 2011 Bestimmung des Anteils biogener und fossiler CO₂ Emissionen aus Schweizer KVAs, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf 2011
- IPCC 2006 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 2: Waste Generation, Composition and Management Data, IPCC 2006
- Hügi laufend Jährliche Erhebung der Anliefermengen bei Schweizer KVA. Erhebung durch die Abteilung Abfall und Rohstoffe, Sektion Abfallbewirtschaftung des BAFU, Verantwortlicher Michael Hügi.
- Law 2013 Fossil organic carbon in wastewater and its fate in treatment plants. Law Y, Jacobsen GE, Smith AM, Yuan Z, Lant P. Water Research, International Water Association, September 2013
- NIR 2014 Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2012, National Inventory Report 2014, BAFU, April 2014
- Öko-Inst 2002 Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung, Im Auftrag der Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD), Öko-Institut, Darmstadt 2002
- UBA 2007 Beispielhafte Darstellung einer vollständigen, hochwertigen Verwertung in einer MVA unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz, Forschungsbericht 205 33 311, ausgeführt durch: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Dess-Rosslau, 2007

Anhang A

Erhebung der Kehrrichtzusammensetzung 2012, BAFU 2012

Bezeichnung 2012			Bezeichnung 2001/02
Biogene Abfälle: Gartenabfälle	Topfpflanzen mit Erde, Äste, Reisig, Laub, Gras, Blumen	Kompostierbare Abfälle	Küchen- und Gartenabfälle, Essensreste (Früchte, Gemüse, Teigwaren, Reis, Brot, Fleisch, Blumen, Gras, Laub, Teebeutel, volle Kaffeefilter usw.), Topfpflanzen mit Erde, Äste, Reisig
Biogene Abfälle: Fleisch und Fisch noch geniessbar	Frischfleisch, Charcuterie, getrocknetes Fleisch, ganze Fische, Meerestiere bzw. Teile davon		
Biogene Abfälle: andere Nahrungsmittel noch geniessbar	Früchte, Gemüse, Brot und andere Backwaren, ungekochte Teigwaren, Käse, Butter, Joghurt, Quark und andere Milchprodukte, Eier, Schokolade, Getränke, Milch (nur Flüssigkeit), Speisereste		
Biogene Abfälle: Rüstabfälle	Rüstabfälle von Gemüse und Früchten, Käserinden, Knochen und Fischgräte		
Papier: Zeitungen	Zeitungen, Zeitschriften, Bücher, Werbebrochüren, Kataloge, Hefte, Bücher, Schreib- und Kopierpapier	Papier	Zeitungen, Zeitschriften, Bücher, Papiertaschentücher, Werbebrochüren, Kataloge, Haushaltspapier, Papiertischtücher, -servietten, Papiersäcke, Briefumschläge
Papier: übriges	Papiertaschentücher, Haushaltspapier, Papiertischtücher, -servietten, Papiersäcke, Briefumschläge		
Karton	Schachteln, unplastifizierte Verpackungen (z.B. Schuhschachteln), Wellpappen, WC-Rollen, Eierschachteln	Karton	Schachteln, unplastifizierte Verpackungen (z.B. Schuhschachteln), Wellpappen, WC-Rollen, Eierschachteln
Kunststoff: Kunststoffbehälter	PET-Getränkeflaschen, Milch-, Öl-, Essig- und Sirupflaschen, übrige Flaschen von Putzmitteln, Waschmitteln, Pflanzendüngern, leere Maler- und Gipserkübel	Kunststoffbehälter	PET-Getränkeflaschen, Milch-, Öl-, Essig- und Sirupflaschen, übrige Flaschen von Putzmitteln, Waschmitteln, Pflanzendüngern, leere Maler- und Gipserkübel
Kunststoff: übrige Kunststoffe	Abfallsäcke, Tragetaschen, Folien, Verpackungen, Joghurtbecher, CD, Video- und Musikkassetten, Putzschwämme, Eierschachteln, Schnellimbissverpackungen, Styropor, Gummi, Fahrradpneus und -schläuche, Kreditkarten, Kerzen, Wachs, Plexiglas		

Bezeichnung 2012			Bezeichnung 2001/02
Verbundwaren	Möbel, Bretter mit Nägeln, nichtelektronische Haushaltsgeräte, Spielzeuge, Schuhe und Teppiche aus gemischten Materialien, Sportgeräte, Windeln, Binden, Watte, Tampons, Schmuck, Werkzeug (Hammer, Zange usw.), Ordner, Fotos, Sonnenbrillen, Spiegel, Teflonpfannen, Besteck usw. mit Plastikgriff	Verbundwaren	Möbel, nichtelektronische Haushaltsgeräte, Spielzeuge, Schuhe und Teppiche aus gemischten Materialien, Windeln, Binden, Watte, Tampons, Schmuck, Werkzeug (Hammer, Zange usw.), Kabel, Plexiglas, Ordner, Fotos, Sonnenbrillen, Spiegel, Teflonpfannen
Verbundverpackungen	Milch- und Fruchtsaftverpackungen (Tetra-Brik), Tiefgefrierpackungen, Plastik-Aluverbund (Fondue-, Rösti-, Kaffeeverpackungen), Zigarettenpäckchen, gewisse «Plastiktuben»	Verbundverpackungen	Milch- und Fruchtsaftverpackungen (Tetra-Brik), Tiefgefrierpackungen, Plastik-Aluverbund (Fondue-, Rösti-, Kaffeeverpackungen), Zigarettenpäckchen, gewisse «Plastiktuben»
Mineralien	Katzenstreu, Steine, Keramik, Porzellan, Staub (inkl. Staubsaugersäcke), Asche, Hydrokugelchen	Mineralien	Katzenstreu, Steine, Keramik, Porzellan, Staub, Asche, Hydrokugelchen
Glas: Mehrwegflaschen	Glasflaschen mit Pfand	Glas	Verpackungsglas (Getränkeflaschen, Parfümflaschen usw.), Fensterglas, Glühbirnen, Becher, Gläser, Neonröhren
Glas: Stromsparlampen	Kompakt-Leuchtstofflampen		
Glas	Verpackungsglas, Getränkeflaschen, Parfümflaschen usw., Fensterglas, Glühbirnen, Vasen, Gläser, Neonröhren		
Textilien	Kleider, textilartig verarbeitete Materialien, Natur- und synthetische Fasern, Lumpen, Strümpfe, textile Tischtücher und Servietten, Bodenlumpen, Putztücher, Vorhänge, Schnur, Rucksäcke, Taschen	Textilien	Kleider, textilartig verarbeitete Materialien, Natur- und synthetische Fasern, Lumpen, Strümpfe, textile Tischtücher und Servietten, Bodenlumpen, Putztücher, Vorhänge
Organische Natur-Produkte	Naturbelassenes Holz, , Leder (mit Schnallen und Nieten), Fell, Haare, Holzkohle, Kork(zapfen)	Organische Natur-Produkte	Holz, Knochen, Leder, Fell, Haare, Fischgräte, Holzkohle
Eisen	Weissblechbüchsen (mit Schweissnaht), Deckel, Schrauben, Nägel, Gusseisenpfannen, Chromstahlpfannen mit Plastikgriff	Eisen	Magnetische (Ferro- und paramagnetische) Metalle, Weissblechbüchsen, Deckel, Schrauben, Nägel, Gusseisenpfannen
Nichteisenmetalle: Alu-Getränkedosen	Getränkedosen (ohne Schweissnaht)	Nichteisenmetalle	nichtmagnetische Metalle, Aluminiumfolien, Tuben, Behälter, Deckel, Dosen
Nichteisenmetalle: übriges Aluminium	Aluminiumfolien, Tuben, Behälter, Deckel, Spraydosen, Katzenfutterdosen; Messing- und Kupferteile		
Elektrik/Elektronik	Elektrogeräte wie Haushaltsgeräte, Radios, Lampen, Uhren, Bügeleisen, Föhn, Rasierapparat, Elektrozahnbürste; Computerteile, elektronisches Spielzeug, Mobiltelefone, Kabel	Elektrik/Elektronik	Elektrogeräte wie Haushaltsgeräte, Radios, Lampen, Uhren, Bügeleisen, Föhn, Rasierapparat; Computerteile, elektronisches Spielzeug
Batterien	alle Arten von Batterien	Batterien	alle Arten von Batterien
Sonderabfälle	Medikamente, Fiebermesser, volle/halbvolle Farbkübel und Spraydosen, Gebinde mit Fotoentwickler, Altöl, Spritzmittel o.ä.	Sonderabfälle	Medikamente, Fiebermesser, volle/halbvolle Farbkübel und Spraydosen, Gebinde mit Fotoentwickler, Altöl, Spritzmittel o.ä.
Restfraktion	–		Abfallfraktion mit einer Korngrösse von unter 8 mm

Anhang B

Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung, Öko-Institut, Darmstadt 2002

Tabelle 3.2 Zusammensetzung der Abfallarten nach Fraktionen

Fraktion	Hausmüll	Sperrmüll	Gewerbeabfälle
Papier	10,2 %	2,0 %	13,4 %
Glas	4,0 %	0,0 %	0,2 %
Fe	4,0 %	8,0 %	1,1 %
Al	0,4 %	0,0 %	0,0 %
Kunststoffe	7,3 %	12,0 %	19,5 %
Organik	26,0 %	2,0 %	22,0 %
Holz	3,3 %	49,0 %	11,5 %
Verpackungsverbunde	0,7 %	0,0 %	0,0 %
Verbundstoffe	5,0 %	0,0 %	1,2 %
Windeln	8,0 %	0,0 %	0,0 %
Inertstoffe	5,1 %	4,0 %	7,1 %
Textilien	3,0 %	5,0 %	1,1 %
Mittelmüll	10,9 %	18,0 %	12,0 %
Feinmüll	11,0 %	0,0 %	11,0 %
Leder	0,5 %	0,0 %	0,0 %
Problemstoffe	0,6 %	0,0 %	0,0 %

Tabelle 3.3 Glühverlust der einzelnen Abfallfraktionen bezogen auf die Trockensubstanz [Öko-Institut 2002a]

Fraktion	Glühverlust
Papier	86,0 %
Glas	1,0 %
Fe	9,5 %
Al	50,0 %
Kunststoffe	99,0 %
Organik	70,0 %
Holz	97,2 %
Verpackungsverbunde	80,0 %
Verbundstoffe	82,4 %
Windeln	95,3 %
Inertstoffe	1,0 %
Textilien	94,0 %
Mittelmüll	60,0 %
Feinmüll	60,0 %
Leder	90,0 %
Problemstoffe	84,7 %

Tabelle 3.4 Elementargehalte der einzelnen Abfallfraktionen bezogen auf den Glühverlust [Wollny 2002, Öko-Institut 2002c]

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Chlor	Schwefel	Stickstoff
Papier	48,6 %	6,4 %	44,3 %	0,3 %	0,2 %	0,2 %
Glas	47,0 %	10,0 %	40,0 %			3,0 %
Fe	48,2 %	6,3 %	44,2 %	0,7 %	0,1 %	0,5 %
Al	48,2 %	6,3 %	44,2 %	0,7 %	0,1 %	0,5 %
Kunststoffe	82,7 %	13,3 %	3,8 %	0,1 %	0,0 %	0,1 %
Organik	50,7 %	6,7 %	38,7 %	0,7 %	0,5 %	2,7 %
Holz	49,4 %	6,2 %	43,7 %	0,1 %	0,1 %	0,5 %
Verp.verbunde	59,3 %	7,9 %	32,1 %	0,7 %		
Verbundstoffe	57,6 %	7,6 %	32,7 %	1,5 %	0,1 %	0,5 %
Windeln	56,6 %	7,7 %	31,1 %	0,8 %	0,3 %	3,6 %
Inertstoffe	48,2 %	6,3 %	44,2 %	0,7 %	0,1 %	0,5 %
Textilien	51,1 %	6,9 %	37,1 %	0,4 %	0,4 %	4,3 %
Mittelmüll	50,4 %	6,4 %	40,2 %	0,7 %	0,3 %	2,0 %
Feinmüll	49,9 %	6,5 %	40,0 %	0,5 %	0,6 %	2,5 %
Leder	47,0 %	7,0 %	33,0 %			13,0 %
Problemstoffe	69,7 %	9,9 %	19,2 %	0,7 %	0,1 %	0,4 %

Tabelle 3.5 Biomasseanteile (als biogener Kohlenstoffgehalt) einzelner Abfallfraktionen in Prozent des Gesamt-Kohlenstoffgehaltes (Gesamt-C)

	Anteil biogenes C am Gesamt-C	Quelle
Papier	99 %	Öko-Institut 2002a*
Glas	98 %	Öko-Institut 2002a*
Fe	98 %	Öko-Institut 2002a*
Al	98 %	Öko-Institut 2002a*
Kunststoffe	5 %	Öko-Institut 2002a*
Organik	100 %	BIfA 1998
Holz	100 %	BIfA 1998
Verpackungsverbunde	60 %	BIfA 1998
Verbundstoffe	20 %	BIfA 1998
Windeln	90 %	BIfA 1998
Inertstoffe	98 %	Öko-Institut 2002a*
Textilien	65 %	BIfA 1998
Mittelmüll	65 %	BIfA 1998
Feinmüll	100 %	BIfA 1998
Leder	90 %	BIfA 1998

* wurde vom Öko-Institut abgeschätzt