

Biomasseanteil in österreichischen Abfallverbrennungsanlagen

Therese Schwarzböck, Helmut Rechberger und Johann Fellner

1.	Einleitung und Ziel	614
2.	Methodik	615
2.1.	Bilanzenmethode	615
2.2.	Anwendung der Bilanzenmethode auf die Betriebsparameter der österreichischen Abfallverbrennungsanlagen	618
3.	Ergebnisse und Diskussion	620
3.1.	Plausibilitätsprüfung.....	620
3.2.	Bilanzenmethode: Vergleich der Anlagen und Verlauf der fossilen und biogenen CO ₂ -Emissionen über das erste Halbjahr 2014.....	622
4.	Schlussfolgerungen	625
5.	Danksagung	625
6.	Referenzen.....	625

Bei der Abfallverbrennung entsteht treibhausneutrales – aus biogenen Quellen wie Holz, Papier, Küchen- und Gartenabfälle – und treibhausrelevantes CO₂ (aus Kunststoffen). Um letzteres und damit den Beitrag der Abfallverbrennung zur Klimabilanz Österreichs zu quantifizieren, werden hier die Betriebsdaten von zehn österreichischen Anlagen ausgewertet. Die methodische Grundlage bildet die von der Technischen Universität Wien auf europäischer Ebene patentierte Bilanzenmethode. Das Verfahren beruht auf einem mathematischen Abgleich von theoretischen Bilanzgleichungen mit messbaren Betriebsgrößen der Verbrennungsanlage, wie Reingasmenge, O₂- und CO₂-Konzentration des Reingases und Dampfmenge. Mit Plausibilitätsprüfungen werden die Betriebsdaten im Vorfeld auf mögliche Mess- und Dokumentationsfehler untersucht. Gemessen an der tatsächlich verbrannten Abfallmenge konnten stets mehr als 95 Prozent der Daten pro Anlage für die Auswertung berücksichtigt werden. Die ermittelten spezifischen CO₂-Emissionen der einzelnen Anlage variieren zwischen 230 bis 670 kg fossiles CO₂ pro Tonne Abfall oder 26,6 bis 57,6 kg fossiles CO₂ pro GJ Heizwert des Abfalls. Neben dieser großen Spannweite zwischen den Abfallverbrennungsanlagen

sind zudem für einzelne Anlagen starke zeitliche Schwankungen der Abfallzusammensetzung und damit der spezifischen CO₂-Emissionen zu beobachten. Folglich lässt sich für Abfallverbrennungsanlagen kein allgemein gültiger Emissionsfaktor ableiten.

1. Einleitung und Ziel

Nach Inkrafttreten der Deponieverordnung in Österreich, die seit 2004 oder in einzelnen Bundesländern seit 2009 das Deponieren von unbehandeltem Restabfall und Rückständen aus der kommunalen Abwasserreinigung untersagt, ist ein deutlicher Anstieg der thermisch verwerteten Abfälle zu verzeichnen. Im Jahr 2000 standen in Österreich nur drei Abfallverbrennungsanlagen zur thermischen Behandlung von Rest- und Gewerbeabfall mit einer Gesamtkapazität von rund 540.000 Tonnen pro Jahr zur Verfügung [17]. Mittlerweile sind elf Anlagen mit einer Gesamtkapazität von rund 2.500.000 Tonnen pro Jahr in Betrieb (basierend auf [2, 3]). Diese Entwicklung führte zur drastischen Reduktion der deponierten Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen und damit verbunden auch zum Rückgang aktueller und insbesondere zukünftiger Methanemissionen aus Deponien. Durch den Anstieg der verbrannten Abfallmengen gelangt jedoch mehr CO₂ in die Atmosphäre, das – obgleich es weitaus weniger klimawirksam ist als Methan – in der Klimabilanz Österreichs zu berücksichtigen ist. Da bei der Abfallverbrennung sowohl treibhausneutrales – aus biogenen Quellen wie Holz, Papier, Küchen- und Gartenabfälle – als auch treibhausrelevantes CO₂ (aus Kunststoffen stammend) entsteht, müssen die CO₂-Anteile (biogen und fossil) abgeschätzt werden. Bisherige Methoden, den Anteil fossiler CO₂ Emissionen zu bestimmen, basieren vorwiegend auf Sortieranalysen, die jedoch mit großer Unsicherheit behaftet sind [4, 15]. Restfraktionen – die bis zu dreißig Prozent betragen können – können nicht mehr den Attributen *fossil* oder *biogen* zugeordnet werden und durch große Schwankungen in der Abfallzusammensetzung sind repräsentative Proben mit vertretbarem Aufwand nicht gewinnbar [14]. Eine weitere gängige Methode zur Bestimmung der CO₂ Emissionen aus der Abfallverbrennung ist die Verwendung von *Emissionsfaktoren*, die die fossile CO₂ Menge pro Tonne Abfall oder pro GJ Energieinhalt des Abfalls angeben. Diese *Emissionsfaktoren* beruhen zumeist auf Ergebnissen von Sortieranalysen und werden üblicherweise als typischer Emissionswert für verschiedene Brennstoffe – z.B. Steinkohle, Diesel, Braunkohle – angegeben. Jüngere Untersuchungen belegen allerdings, dass allgemeine Emissionsfaktoren für die Abfallverbrennung nur bedingt Gültigkeit haben, da die Zusammensetzung des Abfalls sowohl zeitlich als auch regional stark variieren kann [11]. Die veränderliche Zusammensetzung des Abfalls lässt sich mit dem an der Technischen Universität Wien entwickelten Verfahren, der *Bilanzenmethode*, bestimmen, diese erlaubt, nur unter Verwendung von Betriebsparametern der Verbrennungsanlage die Abfallzusammensetzung – Unterscheidung biogen und fossil – laufend zu erfassen.

Bisher wurde das Verfahren an mehr als zwanzig verschiedenen Verbrennungsanlagen in mehreren europäischen Ländern zur Biomassebestimmung beziehungsweise zur Bestimmung der fossilen CO₂ Emissionen aus der Abfallverbrennung eingesetzt.

Ziel der hier beschriebenen Arbeiten ist es, die Betriebsdaten der österreichischen Abfallverbrennungsanlagen mittels *Bilanzenmethode* für das Jahr 2014 auszuwerten, um auf die Zusammensetzung des Abfallinput zu schließen und daraus schlussendlich folgende Parameter abzuleiten:

- Anteil des fossilen und biogenen Kohlenstoffgehalts des Abfalls (um daraus die fossilen und biogenen CO₂-Emissionen zu berechnen),
- Spezifische klimarelevante CO₂ Emissionen – bezogen auf Abfallinput (kg CO_{2,foss} pro Tonne Abfallinput) oder bezogen auf den Heizwert des Abfalls (kg CO_{2,foss} pro MJ Heizwert des Abfalls)

Tabelle 1: Die zu untersuchenden österreichischen Abfallverbrennungsanlagen mit verbrannten Abfallarten

Anlage	Feuerungstechnologie	Verbrannter Abfall (qualitative Angabe)
A	Rostfeuerung (RF)	Überwiegend Restabfall
B	Rostfeuerung (RF)	Restabfall und Gewerbeabfall
C	Stationäre Wirbelschichtfeuerung (WS)	Fraktionen aus Rest- und Gewerbeabfallsplitting + Klärschlamm
D	Wirbelschichtfeuerung (WS)	Fraktionen aus Rest- und Gewerbeabfallsplitting + Klärschlamm
E	Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung (WS)	Fraktionen aus Rest- und Gewerbeabfallsplitting + Klärschlamm
F	Rostfeuerung (RF)	Restabfall und Gewerbeabfall
G	Stationäre Wirbelschichtfeuerung (WS)	Fraktionen aus Rest- und Gewerbeabfallsplitting
H	Stationäre Wirbelschichtfeuerung und Drehrohrofen (WS+DRO)	Klärschlamm + gefährliche Abfälle
I	Rostfeuerung (RF)	Restabfall und Gewerbeabfall
J	Rostfeuerung (RF)	Restabfall

Die Ergebnisse der Analysen sollen es erlauben, den Beitrag der Abfallverbrennung zur nationalen Klimabilanz Österreichs zu quantifizieren. Die untersuchten zehn Abfallverbrennungsanlagen (Tabelle 1) umfassen eine Gesamtkapazität von rund 2.161.000 Tonnen Abfall pro Jahr, wobei überwiegend Restabfall, Gewerbeabfall und Klärschlamm eingesetzt werden. Bisher konnten Daten von sieben Anlagen (A bis G) ausgewertet werden. Im Folgenden werden erste Ergebnisse dieser Auswertungen vorgestellt.

2. Methodik

2.1. Bilanzenmethode

Die methodische Grundlage für die Ermittlung der fossilen und biogenen CO₂ Emissionen bildet die am 30.03.2005 zum österreichischen Patent angemeldete und in der Zwischenzeit (26.12.2012) auf europäischer Ebene patentierte Bilanzenmethode – *Verfahren zur Ermittlung der Anteile biogener und fossiler Energieträger sowie biogener*

und fossiler Kohlendioxidemissionen. Das Verfahren beruht auf einem mathematischen Abgleich von theoretischen Bilanzgleichungen mit messbaren Betriebsgrößen der Verbrennungsanlage (zum Beispiel Reingasmenge, O_2 - und CO_2 -Konzentration des Reingases oder Dampfmenge).

Insgesamt werden sechs Gleichungen herangezogen (Bild 1):

- Massenbilanz,
- Aschenbilanz,
- Kohlenstoffbilanz,
- Energiebilanz,
- Sauerstoffverbrauchsbilanz,
- Differenz aus Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidproduktion.

Massenbilanz	$m_B +$	$m_F + m_I$	$+ m_W$	$=$	1
Aschenbilanz			$+ m_I$	$=$	a_{Abfall}
Kohlenstoffbilanz	$C_B \cdot m_B +$	$C_F \cdot m_F$		$=$	c_{Abfall}
Energiebilanz	$HW_B \cdot m_B +$	$HW_F \cdot m_F$	$-2,45 \cdot m_W$	$=$	HW_{Abfall}
O_2 -Verbrauch	$O_{2,C,B} \cdot m_B +$	$O_{2,C,F} \cdot m_F$		$=$	$O_{2,C}^{\text{Abfall}}$
Differenz aus O_2 -Verbrauch + CO_2 -Produktion	$d_{O_2-CO_2,B} \cdot m_B +$	$d_{O_2-CO_2,F} \cdot m_F$		$=$	$d_{O_2-CO_2}^{\text{Abfall}}$


Aus den Betriebsdaten ableitbar 

Bild 1: Gleichungssystem der Bilanzenmethode (vereinfachte Darstellung)

Quelle: Fellner, J.; Cencic, O.; Rechberger, H.: Cost effective determination of the share of renewable energy from waste-to-energy plants. CISA Publisher, 12th International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Paula, Sardinia, Italy, 2009

Jede der Gleichung charakterisiert eine Abfalleigenschaft z.B. Aschegehalt, Kohlenstoffgehalt, Heizwert. Für die Erstellung der Bilanzgleichungen werden die Materialien des Abfallinputs gedanklich in vier Stoffgruppen unterteilt: inerte (m_I), biogene (m_B) und fossile (m_F) Materialien sowie Wasser (m_W). Die inerte Stoffgruppe beinhaltet per Definition die Trockenmasse aller nicht brennbaren Abfallbestandteile, wie Glas, Steine, Aschen oder anorganische Anteile in Bioabfällen bzw. Kunststoffen

– zum Beispiel Kaolin in Papier, oder anorganische Additive in Kunststoffen. In den biogenen und fossilen Stoffgruppen m_B und m_F ist nur die wasser- und aschefreie organische Substanz subsumiert (Bild 2).

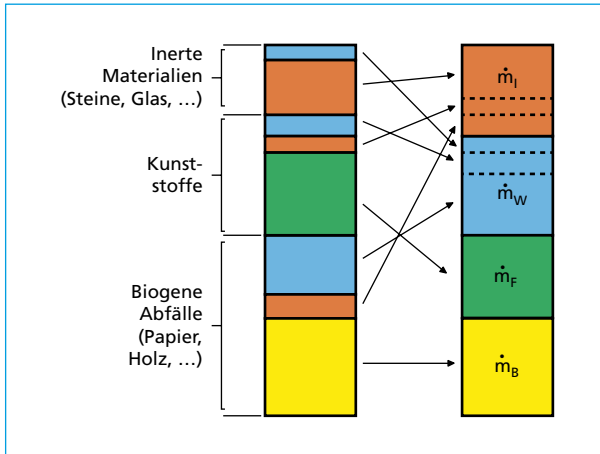


Bild 2:

Unterteilung des Abfalls in Stoffgruppen

Quelle: Fellner, J.; Cencic, O.; Rechberger, H.: A New Method to Determine the Ratio of Electricity Production from Fossil and Biogenic Sources in Waste-to-Energy Plants. Environmental Science & Technology, 41(7), 2007, S. 2579-258

Die Unbekannten des Gleichungssystem (Bild 1) sind die Massenanteile an inerten, biogenen und fossilen Stoffen sowie Wasser (m_i , m_B , m_F und m_w). Die Koeffizienten (HW_B , c_B , $d_{O_2-CO_2}$, $o_{2,b}^c$...) der Unbekannten lassen sich aus der chemischen Zusammensetzung der biogenen und fossilen Materialien berechnen. Daten hierfür können der Literatur entnommen oder mit Laboranalysen bestimmt werden.

Um einen möglichen Einfluss anorganischer Reaktionen – zum Beispiel Kalkbrennen oder Oxidation von Metallen – auf die einzelnen Bilanzen zu berücksichtigen, wurden folgende Prozesse in den angeführten Gleichungen inkludiert:

- etwa 25 g $CaCO_3$ /kg Abfall werden zu CaO und CO_2 dissoziiert. Dies entspricht rund fünfzig Prozent der gesamten Karbonatmenge im Abfallinput [13].
- Oxidation von Aluminium in einem Ausmaß von rund 0,75 g Al/kg Abfall (berechnet nach [10, 16]), und
- Oxidation von Eisen im Ausmaß von rund 4 g Fe/kg Abfall (nach [1]).

Das Gleichungssystem der Bilanzenmethode besteht aus sechs Gleichungen und vier Unbekannten. Es handelt es sich somit um ein überbestimmtes System, das mit Hilfe nichtlinearer Ausgleichsrechnung zu lösen ist. Konkret wird die Methode der schrittweisen linearen Ausgleichsrechnung angewandt. Ausgabewerte sind die berechneten Massenanteile sowie die zugehörigen Unsicherheitsbereiche.

Eine detaillierte Beschreibung der Gleichungen der Bilanzenmethode ist dem österreichischen Patent A539/2005 – *Verfahren zur Ermittlung der Anteile biogener und fossiler Energieträger sowie biogener und fossiler Kohlendioxidemissionen* – und der europäischen Patentanmeldung [6] zu entnehmen. Die Methode wird ebenfalls in Fellner et al. (2007) im Detail beschrieben. [4]

2.2. Anwendung der Bilanzenmethode auf die Betriebsparameter der österreichischen Abfallverbrennungsanlagen

Datengrundlage und Vorgehensweise

Um die Betriebsdaten der österreichischen Abfallverbrennungsanlagen auf die gewünschten Parameter auszuwerten – Anteil des fossilen und biogenen Kohlenstoffgehalts und spezifische klimarelevante CO₂-Emissionen – wird nach dem Schema, dargestellt in Bild 3, verfahren. Die benötigten Eingangsparameter (Tabelle 2) werden zusammen mit den Anforderungen (wie zeitliche Auflösung oder Messgenauigkeit)

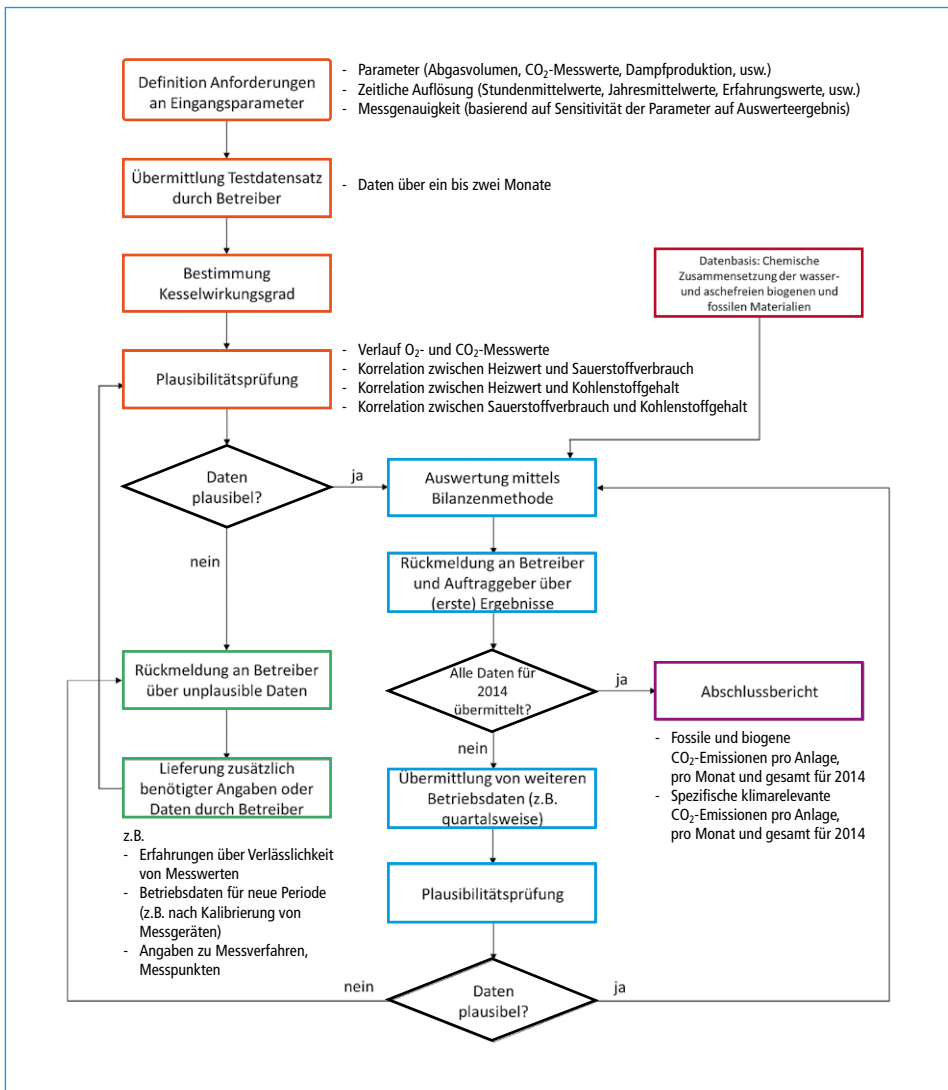


Bild 3: Vorgehensweise zur Auswertung der Betriebsdaten der Abfallverbrennungsanlagen mittels Bilanzenmethode

definiert und an die Anlagenbetreiber kommuniziert. Ausschlaggebend für die Anforderungen an einen Parameter ist die Sensitivität der einzelnen Parameter auf das Auswertergebnis (siehe dazu auch [7]). Ein Testdatensatz jeder Anlage dient dazu, die Auswertbarkeit der vorhandenen Betriebsdaten vorerst abzuschätzen und die Daten auf Plausibilität zu prüfen (Beschreibung der Plausibilitätstests siehe weiter unten im Kapitel). Der Kesselwirkungsgrad wird anhand der übermittelten Daten bestimmt – hierzu sind zusätzlich zu Tabelle 2 die Betriebsparameter Verbrennungsluftmengen- und -temperaturen nötig – und mit den Angaben des Betreibers (falls vorhanden) verglichen. Die als plausibel deklarierten Datensätze können für die Auswertung mittels Bilanzenmethode herangezogen werden. Liegen die Daten nicht wie erwartet in den definierten Wertebereichen oder werden mögliche Mess- oder Datenübertragungsfehler vermutet, werden beim Betreiber nötige Zusatzangaben oder gegebenenfalls weitere Datensätze zur Klärung erfragt. Alle weiteren übermittelten Datensätze werden vor der endgültigen Auswertung ebenfalls den Plausibilitätstests unterzogen und die Ergebnisse für das gesamte Jahr 2014 schließlich für den Auftraggeber in einem Abschlussbericht zusammengefasst.

Eingangsparameter	Einheit
Verbrannte Abfallmenge	t/h
Verbrannte Klärschlammmenge	t/h
Zusatzbrennstoffe (Öl und/oder Gas)	t/h bzw. m ³ /h
Rückstandsmengen (Schlacke, Asche)	t/h*
Reingasmenge trocken	Nm ³ /h
O ₂ - und CO ₂ -Konzentration im trockenen Reingas	Vol-%
Dampfproduktion	t/h
Dampftemperatur und Dampfdruck	°C und bar
Speisewassertemperatur	°C
Wirkungsgrad des Dampfkessels	–

Tabelle 2:

Benötigte Eingangsdaten der Bilanzenmethode

* Daten für die Rückstände sind auch in Form von Monatsmittelwerten ausreichend.

Plausibilitätsprüfung

Vor der eigentlichen Berechnung mittels Bilanzenmethode werden die Betriebsdaten durch Plausibilitätsprüfungen auf mögliche Messfehler untersucht. Dafür werden folgende chemisch-physikalische Beziehungen zwischen dem Heizwert und der Reingasmenge sowie dessen Zusammensetzung herangezogen: Jedes Mol verbrauchter Sauerstoff geht mit einer Energiefreisetzung von 360 bis 400 kJ einher – basierend auf theoretische Berechnungen des unteren Heizwertes und des Sauerstoffverbrauchs für *extreme* Abfallzusammensetzungen – entweder nur biogen oder nur fossil zusammen mit inertem Material und Wasser. Es ergeben sich ähnliche Zusammenhänge für den Kohlenstoffgehalt. Hier werden durch die Verbrennung von einem Gramm organischen Kohlenstoff 34 bis maximal 44 kJ freigesetzt [4].

Folgende Zusammenhänge in den Betriebsdaten werden überprüft:

- Gegengleicher Verlauf der O_2 - und CO_2 -Konzentrationen im Reingas,
- Summe der O_2 - und CO_2 -Konzentrationen im Reingas im Bereich zwischen 15 und 21 Prozent,
- Korrelationen zwischen dem Heizwert des Brennstoffs und dem Sauerstoffverbrauch während der Verbrennung,
- Korrelationen zwischen dem Heizwert und dem Kohlenstoffgehalt des Brennstoffs,
- Korrelationen zwischen dem Sauerstoffverbrauch und dem Kohlenstoffgehalt des Brennstoffs.

Alle Daten, die außerhalb des definierten Wertebereichs liegen – wobei hier die Korrelation zwischen Sauerstoffverbrauch und dem Kohlenstoffgehalt ausschlaggebend ist, werden für die Auswertung mittels Bilanzmethode nicht herangezogen.

Anmerkung: Die Bezeichnung unplausibel bedeutet, dass die Messdaten bestimmte Korrelationen nicht ausreichend genau erfüllen. Es ist jedoch gleichzeitig festzuhalten, dass diese Wertung sich lediglich auf die Anwendung der Daten im Rahmen der Bilanzmethode bezieht.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Plausibilitätsprüfung

Die Plausibilitätsprüfung wird basierend auf 6-Stundenmittelwerten der notwendigen Betriebsparameter durchgeführt. In Bild 4 und Bild 5 sind exemplarisch die Ergebnisse einer Anlage (Anlage G) dargestellt. Neunzig Prozent der sechs-Stundenwerte in Bild 5 liegen im definierten Wertebereich (die in Bild 5 dargestellte Korrelation zwischen Sauerstoffverbrauch und Kohlenstoffgehalt ist ein Musskriterium für die Berechnungen gemäß Bilanzmethode). Gemessen an der tatsächlich verbrannten Abfallmenge konnten bei Anlage G sogar mehr als 96 Prozent der Daten für die Auswertung berücksichtigt werden (Tabelle 3). Die Anteile der bisher als plausibel eingestuften Abfallmengen der anderen Anlagen ist ebenfalls in Tabelle 3 ausgewiesen, wobei der Wert durchwegs über 95 Prozent liegt. Die Betriebsdaten einer Anlage (Anlage D) konnten aufgrund zu unsicherer Datenlage zu CO_2 - und O_2 -Messungen bislang nicht ausgewertet werden.

Beim Großteil der Anlagen waren vor der Einstufung der Daten als plausibel Rückfragen an den Betreiber nötig, da sich einzelne Parameter als nicht stimmig darstellten. Gründe dafür sind häufig Fehler in der Dokumentation oder auch Messfehler. Die größten und häufigsten Fehler in den übermittelten Betriebsdaten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- feuchte Reingasmengen als trocken angegeben,
- Umrechnung der Reingasmengen von Ist- O_2 -Gehalt auf 11 Prozent O_2 -Gehalt nicht nachvollziehbar oder nicht ausgewiesen,

- systematische Über- oder Unterschätzung der Reingasmengen,
- keine Informationen über Messprinzip der O_2 - und CO_2 -Messungen (trocken oder feucht).

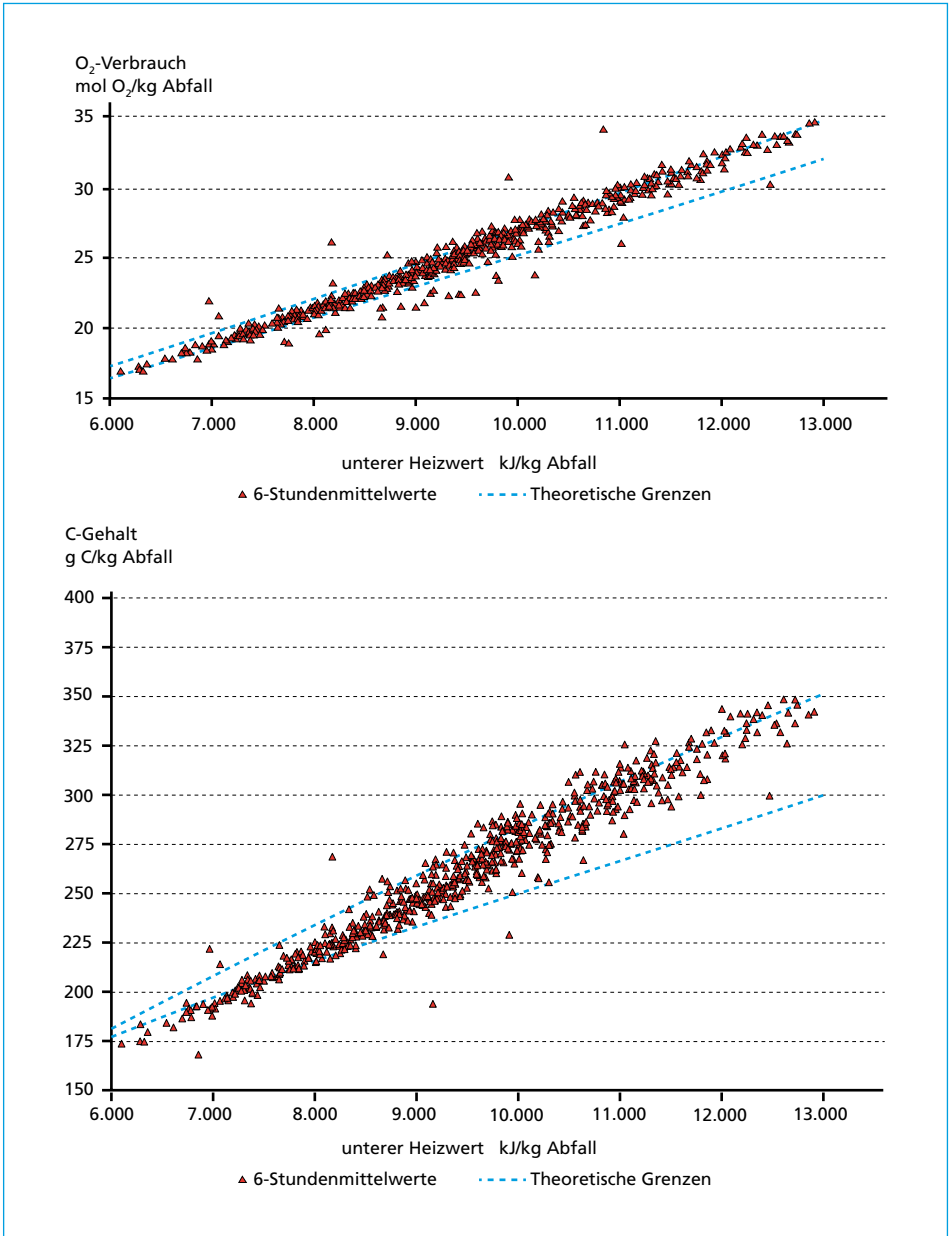


Bild 4: Resultate der Plausibilitätsprüfung der Abfallverbrennungsanlage G (Korrelation zwischen Heizwert und Sauerstoffverbrauch sowie Korrelation zwischen Heizwert und Kohlenstoffgehalt)

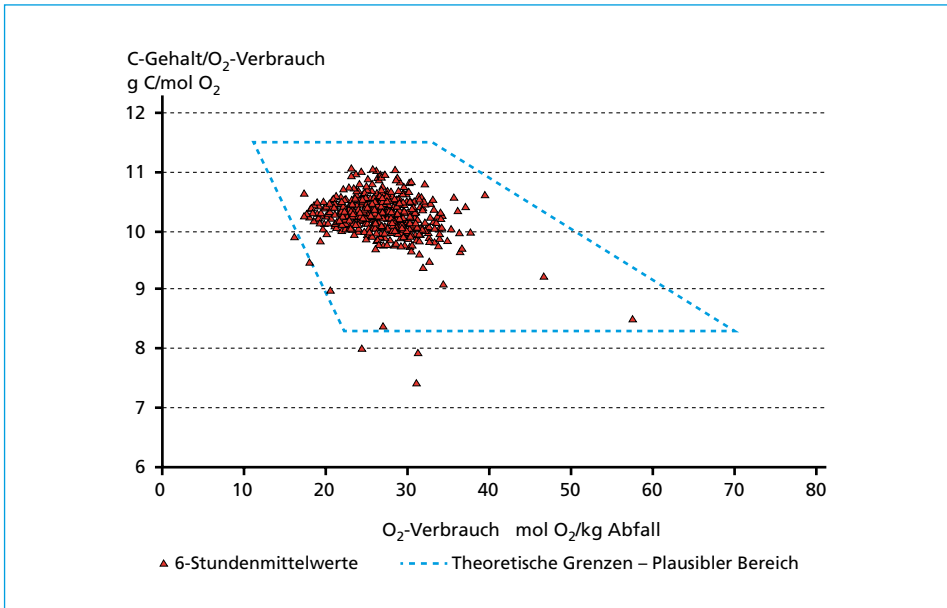


Bild 5: Resultate der Plausibilitätsprüfung der Abfallverbrennungsanlage G (Korrelation zwischen Sauerstoffverbrauch und Kohlenstoffgehalt)

Tabelle 3: Bisher als plausibel eingestufte Betriebsdaten der einzelnen Anlagen – angegeben als verbrannte Abfallmenge während plausibler Betriebsdaten bezogen auf die gesamte Menge an verbranntem Abfall (einschließlich Klärschlamm)

Anlage	A	B	C	D	E	F	G
	Prozent						
Plausible Abfallmenge	99,7	98,6	96,4	NA	99,3	98,9	96,5

3.2. Bilanzenmethode: Vergleich der Anlagen und Verlauf der fossilen und biogenen CO₂-Emissionen über das erste Halbjahr 2014

Klimarelevante CO₂-Emissionen aus Österreichs Abfallverbrennungsanlagen

Die Berechnungen gemäß Bilanzenmethode wird auf Basis von Monatsmittelwerten durchgeführt, wobei alle als plausibel eingestuften Messdaten zur Mittelwertbildung herangezogen werden. Die nichtlineare Ausgleichsrechnung führt zu den in Bild 6 dargestellten Ergebnissen der fossilen CO₂-Emissionen pro Tonne verbranntem Abfall je Anlage. Es zeigt sich eine große Spannbreite zwischen den Anlagen (zwischen 230 ± 62 und 655 ± 75 kg fossiles CO₂ pro Tonne Abfall). Es wird dadurch annähernd der Bereich abgedeckt der sich auch in Obermoser et al. (2009) [11] beim Vergleich von 11 europäischen Anlagen ergab (260 bis 780 kg fossiles CO₂ pro Tonne Abfall). Zudem sind starke zeitliche Schwankungen für einzelne Anlagen zu verzeichnen. Bei Anlage A variiert der monatliche fossile Emissionsfaktor beispielsweise zwischen

230 ± 62 und 370 ± 61 kg fossiles CO₂ pro Tonne Abfall. Die zeitliche Änderung in der Zusammensetzung des Abfalls spielt hier eine große Rolle. Obwohl keine genauen Angaben dazu verfügbar sind, ist anzunehmen, dass auch die Abfallart (Rest- oder Gewerbeabfall, oder aufbereitete Abfallfraktionen) ihren Beitrag zu den zeitlichen Schwankungen leistet. Im Vergleich gibt das IPCC einen Emissionsfaktor von 557 kg fossiles CO₂ pro Tonne Abfall an (IPCC [9] in Pacher et al., 2007 [12]), was auf Basis der hier ermittelten Werte bei einigen Anlagen eine deutliche (bis zu hundert prozentige) Überschätzung der fossilen CO₂-Emissionen zur Folge hätte. Wie auch in Obermoser et al. (2009) [11] gezeigt, kann daher nicht von einem allgemeingültigen Emissionsfaktor für Abfallverbrennungsanlagen weder auf nationaler noch auf regionaler Ebene ausgegangen werden.

In Bild 7 sind die berechneten fossilen CO₂-Emissionen bezogen auf den Energieinhalt der eingesetzten Abfälle dargestellt. Die Emissionsfaktoren bewegen sich zwischen 26,6 ± 6,1 und 58,0 ± 10,3 kg fossiles CO₂ pro GJ Heizwert. Gemessen am Mittelwert sind die Differenzen zwischen den Anlagen hier kleiner als bei den in Bild 6 dargestellten Emissionsfaktoren bezogen auf den Abfallinput. Dies bedeutet, dass Unterschiede in den spezifischen CO₂ Emissionen nicht nur auf unterschiedliche Anteile von biogenen und fossilen Materialien im Abfall zurückzuführen sind, sondern auch auf höhere und geringere Gesamtkohlenstoffgehalte bzw. Heizwerte des Abfalls.

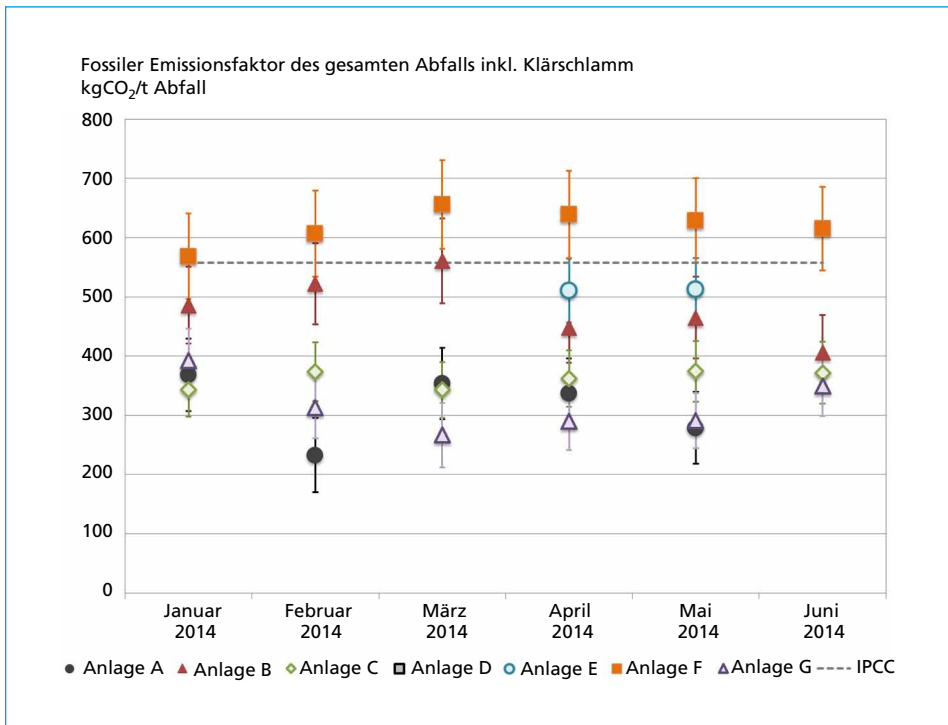


Bild 6: Fossile CO₂-Emissionen (in kg CO₂ pro Tonne verbrannter Abfall inklusive Klärschlamm) pro Anlage (Monatsmittelwerte inklusive Standardabweichung) – Daten für die Anlagen D, H, I und J noch nicht verfügbar

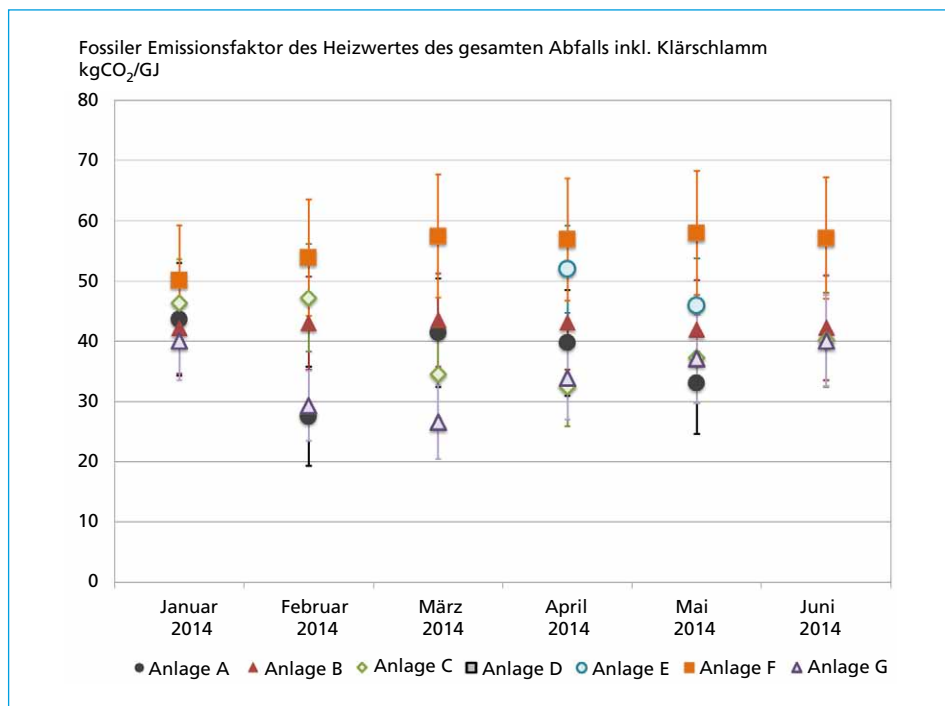


Bild 7: Fossile CO₂-Emissionen (in kg CO₂ pro GJ Heizwert des gesamten Abfalls inklusive Klärschlamm, Monatsmittelwerte inklusive Standardabweichung) – Daten für die Anlagen D, H, I und J noch nicht verfügbar

Anteil des biogenen Kohlenstoffs im Input der österreichischen Abfallverbrennungsanlagen.

Anhand der berechneten Massenanteile für biogene und fossile Abfallfraktion im Input der Abfallverbrennungsanlagen lassen sich unter anderem auch die biogenen Kohlenstoffanteile – entspricht den Anteilen der biogenen CO₂-Emissionen – ableiten. Tabelle 4 fasst die bisherigen Ergebnisse der Auswertungen für die Anlagen A bis G zusammen.

Tabelle 4: Biogener Kohlenstoffanteil pro Abfallverbrennungsanlage bezogen auf den Kohlenstoff im gesamten Abfall inklusive Klärschlamm – Monatsmittelwerte für Anlage D, H, I und J noch nicht verfügbar

Anlage	Januar 14	Februar 14	März 14	April 14	Mai 14	Juni 14
	kg C _{biogen} /kg C in %					
A	58,7 ± 7,1	74,6 ± 7,0	60,8 ± 6,9	62,6 ± 6,8	69,3 ± 6,8	NA
B	57,2 ± 5,9	55,9 ± 5,9	54,8 ± 5,8	56,9 ± 5,9	57,0 ± 6,6	58,3 ± 6,4
C	57,4 ± 5,8	53,5 ± 6,1	58,7 ± 5,8	58,6 ± 5,4	57,7 ± 5,8	57,9 ± 6,0
D	NA	NA	NA	NA	NA	NA
E	NA	NA	NA	44,2 ± 5,6	42,5 ± 5,6	NA
F	47,3 ± 7,0	43,8 ± 7,0	39,5 ± 7,2	40,9 ± 7,1	39,9 ± 7,1	40,4 ± 7,1
G	59,2 ± 5,7	65,2 ± 5,6	72,8 ± 5,6	67,3 ± 5,5	64,7 ± 5,7	60,8 ± 5,8

Es zeigt sich, dass der Anteil an biogenem Kohlenstoff – bezogen auf den gesamten Abfall einschließlich Klärschlamm – zwischen 39 Prozent (Anlage F) und 75 Prozent (Anlage A) variiert. Bezogen auf den Heizwert liegt der biogene Anteil zwischen 33 Prozent und 69 Prozent. Ein üblicherweise herangezogener Wert in Deutschland wird vom Umweltbundesamt mit fünfzig Prozent biomassebürtiger Heizwertanteil angegeben [8]. Das IPCC schlägt einen Standardwert für fossilen Kohlenstoffgehalt bezogen auf Gesamtkohlenstoffgehalt im Hausabfall von vierzig Prozent vor [9].

4. Schlussfolgerungen

Nach Auswertung der Betriebsdaten von sechs Anlagen für das erste Halbjahr 2014 zeigt sich, dass die ermittelten Emissionsfaktoren für CO₂ erheblichen Schwankungen unterliegen. Zwischen den Anlagen ergeben sich CO₂-Emissionen zwischen 230 ± 62 bis 655 ± 75 kg fossiles CO₂ pro Tonne Abfall bzw. 26,6 ± 6,1 bis 58,0 ± 10,3 kg fossiles CO₂ pro GJ Heizwert. Teilweise zeigen sich ebenso jahreszeitliche Schwankungen der Abfallzusammensetzung einzelner Anlagen. Ändernde Abfallzusammensetzungen sowie Einflüsse durch die Abfallart (Restabfall, Gewerbeabfall, aufbereitete Abfälle aus Splittinganlagen) werden als Ursache der Schwankungen angenommen. Es zeigt sich, dass ein Emissionsfaktor, wie er üblicherweise veranschlagt wird (zum Beispiel 557 kgCO₂/t Abfall, IPCC [9] in Pacher et al., 2007 [12]) teilweise zu deutlich überschätzten fossilen CO₂-Emissionen führen würde und eine anlagenspezifische Auswertung im fortlaufenden Betrieb (wie es mit der Bilanzenmethode möglich ist) als zielführend anzusehen ist. Die Bilanzenmethode stellt sich als verlässliches Verfahren dar, das statistisch fundierte Ergebnisse liefert und für dessen Anwendung üblicherweise keine zusätzliche Messtechnik installiert werden muss – eventuell mit Ausnahme der CO₂-Messungen im Reingas. Ein zusätzlicher Nutzen für die Anlagenbetreiber entsteht indem durch die Plausibilitätsuntersuchungen der Betriebsdaten mögliche systematische Fehlmessungen oder Fehldokumentationen aufgedeckt werden können.

Im Zuge des Projektes werden die Auswertungen in weiterer Folge für das gesamte Jahr 2014 durchgeführt und auf weitere vier österreichische Anlagen ausgedehnt, womit die Ergebnisse in die österreichische Klimabilanz einfließen können.

5. Danksagung

Das Projekt BEFKÖM wird finanziert durch das Ministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und wird durchgeführt in Kooperation mit der Umweltbundesamt GmbH und Betreibern österreichischer Abfallverbrennungsanlagen.

6. Referenzen

- [1] AGW: Emissionsabschätzung für Kehrrechtschlacke (Projekt EKESA), Schlussbericht, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, Schweiz, 1992
- [2] BMLFUW: Bundesabfallwirtschaftsplan 2001, Band 1, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2011

- [3] Böhmer, S.; Kügler, I.; Stoiber, H.; Walter, B.: Abfallverbrennung in Österreich, Statusbericht 2006, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2007
- [4] Fellner, J.; Cencic, O.; Rechberger, H.: A New Method to Determine the Ratio of Electricity Production from Fossil and Biogenic Sources in Waste-to-Energy Plants. *Environmental Science & Technology*, 41(7), 2007, S. 2579-258
- [5] Fellner, J.; Cencic, O.; Rechberger, H.: Cost effective determination of the share of renewable energy from waste-to-energy plants. CISA Publisher, 12th International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Paula, Sardinia, Italy, 2009
- [6] Fellner, J.; Cencic, O.; Rechberger, H.: Verfahren zur Ermittlung der Anteile biogener und fossiler Energieträger sowie biogener und fossiler Kohlendioxidemissionen beim Betrieb von Verbrennungsanlagen (Bilanzenmethode). Anmeldung zum europäischen Patent (März 2006), Wien, 2006
- [7] Fellner, J.; Cencic, O.; Zellinger, G.; Rechberger, H.: Long term analysis of the biomass content in the feed of a waste-to-energy plant with oxygen-enriched combustion air. *Waste Management & Research*, 29(10), 2011, S. 3-12
- [8] Icha, P.: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2012, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Deutschland, 2013
- [9] IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change: Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories, Internet: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>, (Recherchedatum: 15.09.2014), 2000
- [10] Mitterbauer, G.; Skutan, S.; Rechberger, H.: Charakterisierung der Rostasche der MVA Dürnrohr im Hinblick auf die Rückgewinnung von Metallen (Projekt ChaRo), Bericht für AVN - Abfallverwertung Niederösterreich Ges.m.b.H, 2009, S. 151
- [11] Obermoser, M.; Fellner, J.; Rechberger, H.: Determination of reliable CO₂ emission factors for waste-to-energy plants. *Waste Management & Research*, 27(9), 2009, S. 907-913
- [12] Pacher, C.; Weber-Blaschke, G.; Faulstich, M.: Emissionszertifikate für Müllverbrennungsanlagen – Möglichkeiten des Emissionshandels und der Anwendung von Klimaschutzinstrumenten, *Müll und Abfall*, 8, 2007, S. 372-379
- [13] Priester, T.; Köster, R.; Eberle, S.H.: Charakterisierung kohlenstoffhaltiger Bestandteile in Hausmüllverbrennungsschlacken unter besonderer Berücksichtigung organischer Stoffe, *Müll & Abfall*, 6, 1996, S. 387-398
- [14] Rechberger, H.; Fellner, J.; Cencic, O.: Verfahren zur Ermittlung der Anteile biogener und fossiler Energieträger sowie biogener und fossiler Kohlendioxidemissionen beim Betrieb von Abfallverbrennungsanlagen. *Müllhandbuch*. B. Bilitewski, H. Schnurer and B. Zeschmar-Lahl. Berlin, Erich Schmidt Verlag, 2007, S. 1-21
- [15] Séverin, M.; Velis, C.A.; Longhurst, P.J.; Pollard, S.J.T.: The biogenic content of process streams from mechanical-biological treatment plants producing solid recovered fuel. Do the manual sorting and selective dissolution determination method correlate? *Waste Management*, 30(7), 2010, S. 1171-1182
- [16] Skutan, S.; Brunner, P.H.: Stoffbilanzen mechanisch-biologischer Anlagen zur Behandlung von Restmüll (SEMBA). Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien, 2006
- [17] Stubenvoll, J.; Böhmer, S.; Szednyj, I.: Stand der Technik bei Abfallverbrennungsanlagen, Umweltbundesamt GmbH, Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2002
- [18] Umweltbundesamt: Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger, Umweltbundesamt GmbH, Wien, <http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.htm>, 2013