

Bundesamt für Umwelt
BAFU

CH-3003 Bern

Bestimmung des Anteils biogener und fossiler CO₂ Emissionen aus Schweizer KVAs

Schlussbericht

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt BAFU

Ausführung der Messungen: September 2010– August 2011

Anzahl Seiten: 13

Anhang: -

Dübendorf, 28. September 2011



Dr. J. Mohn
Projektleiter



Dr. B. Buchmann
Abteilungsleiterin

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Abteilung Luftfremdstoffe / Umwelttechnik
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf

Einleitung

Ziel des Projekts „Bestimmung des Anteils biogener bzw. fossiler CO₂ Emissionen aus Schweizer KVAs“ ist es, den gemäss Kyoto-Protokoll relevanten Anteil der fossilen CO₂-Emissionen Schweizer Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVAs) zu bestimmen. Grundlage ist der Vertrag Nr. 06.0091.PZ / J241-1864 vom 5. Juli 2010 zwischen dem Bundesamt für Umwelt BAFU und der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa, sowie Präzisierungen zur Messtechnik gemäss Email vom 13. und 30. August 2010.

Das angewandte Messverfahren beinhaltet eine repräsentative CO₂ Probenahme aus der Abluft der KVA und die Bestimmung dessen biogenen Anteils durch Messung des radioaktiven Isotops Kohlenstoff-14 (¹⁴C, Halbwertszeit: 5780 Jahre). Diese Isotopenmessung ermöglicht die Unterscheidung von fossilem Kohlenstoff, in dem wegen seines hohen Alters das ursprünglich vorhandene ¹⁴C zerfallen ist, und modernem (biogenem) Kohlenstoff, der den aktuellen ¹⁴C/¹²C-Level aufweist.

Um regionale Unterschiede, sowie jahreszeitliche Schwankungen im biogenen bzw. fossilen Anteil des Kehrlichts zu berücksichtigen, werden im vorliegenden Projekt zu unterschiedlichen Jahreszeiten Messkampagnen auf 5 Kehrlichtverbrennungsanlagen durchgeführt. Es werden folgende Anlagen beprobt: KVA Buchs, KVA Winterthur und KVA Linthgebiet (je 6 Messkampagnen), UIOM Fribourg und KVA Emmenspitz Zuchwil (je 3 Messkampagnen). Die 3-wöchige Dauer der einzelnen Messkampagnen stellt sicher, dass kurzzeitige Schwankungen der Kehrlichtzusammensetzung keinen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

Der vorliegende Schlussbericht enthält neben einer kurzen Beschreibung der Messtechnik, die Resultate aller Messkampagnen sowie eine erste Analyse der Kehrlichtzusammensetzung.

Beteiligte Personen:

Kontaktpersonen KVA

Hr. H. Fürsinger, Hr. H. Wanger (KVA Buchs)

Hr. R. Briner, Hr. F. Bolli, Hr. A. Haun (KVA Winterthur)

Hr. S. Ringmann (KVA Linthgebiet)

Hr. G. Nussbaumer, Hr. J.-B. Dessemontet (UIOM Fribourg)

Hr. H. Bolz (KVA Emmenspitz Zuchwil)

¹⁴C Analytik und Auswertung

PD Dr. S. Szidat (Universität Bern)

Dr. L. Wacker (ETH Zürich)

Projektleitung

Dr. J. Mohn (Empa)

Probenahme und Bericht

Dr. J. Mohn, K. Zeyer, B. Durciová, Dr. L. Emmenegger (Empa), PD Dr. S. Szidat (Universität Bern)

1 Messtechnik

1.1 CO₂ Probenahme

Je Messkampagne wurden 3 Probenahmen über jeweils eine Woche durchgeführt. Hierbei wurde ein Teilvolumenstrom (200 ml min⁻¹) des Abgases der KVA über ein beheiztes Quarzwollefilter (Einsatz ab der 3. Messkampagne: Nov 2010) und ein beheiztes Sintermetallfilter (60°C, SS-6F-MM-2, Swagelok) entnommen und mit Hilfe eines beheizten Permeationstrockners (ca. 70°C, MD-070-24S, PermaPure) getrocknet (Abbildung 1). Für eine zeitlich integrierende Probenahme wurde ein konstanter Volumenstrom (3 ml min⁻¹) des trockenen Abgases mit Hilfe einer Schlauchquetschpumpe (Ecoline VC-MS/CA 8-6 mit Schlauch Tygon LFL ID 0.59 mm, Ismatec) in einen metallbeschichteten und daher gasundurchlässigen Gasspeicherbeutel (GSB-P/44, Ritter Apparatebau) gefördert. Dieses Vorgehen entspricht dem aktuellen Stand des „ISO Standard Entwurfs“ [1]. Der Volumenstrom der Schlauchquetschpumpe wurde wöchentlich kontrolliert (Optiflow 520, Humonics), wobei die relativen Abweichungen vom Mittelwert ≤ 10% betragen. Der grösste Teil des getrockneten Abgases wurde im Unterdruck (-600 mbar) als Spülgas für den Permeationstrockner verwendet.

Auf der KVA Winterthur wurde auf eine direkte Probenahme des Reingases verzichtet, da sich die Messstelle an einer sehr schwer zugänglichen Stelle im Freien befindet. Stattdessen wurde, mit einer Membranpumpe (N010ST.18, KNF Neuberger), ein Teilvolumenstrom (200 ml min⁻¹) des trockenen und partikelfreien Messgases der Emissionsmeseinrichtung der Linie 2 entnommen (Abbildung 2). Analog den anderen Anlagen wurde ein konstanter Volumenstrom (3 ml min⁻¹) des Abgases mit Hilfe einer Schlauchquetschpumpe in einen Gasspeicherbeutel gefördert und deren Volumenstrom wöchentlich kontrolliert.

Abbildung 1 Zeitlich integrierende Probenahme des partikelfreien und getrockneten Abgases (alle KVAs ausser Winterthur)

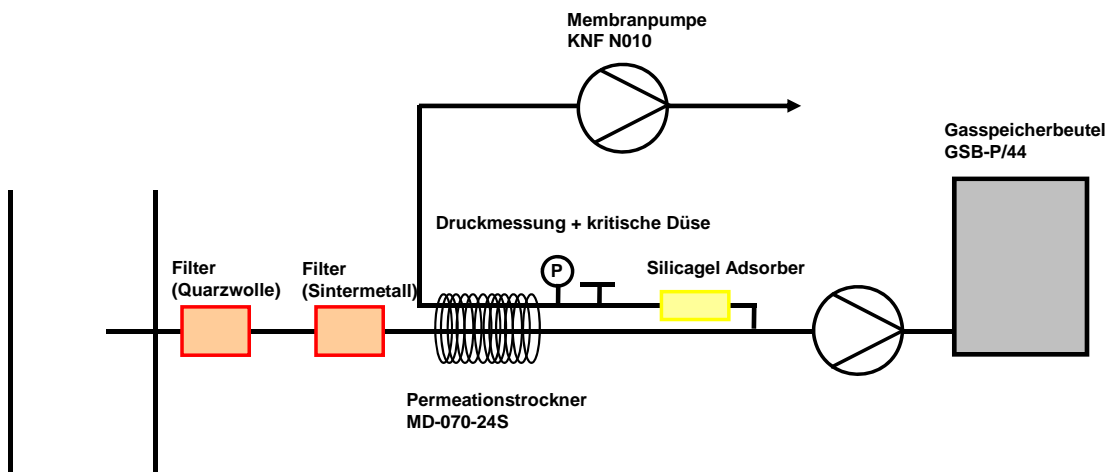
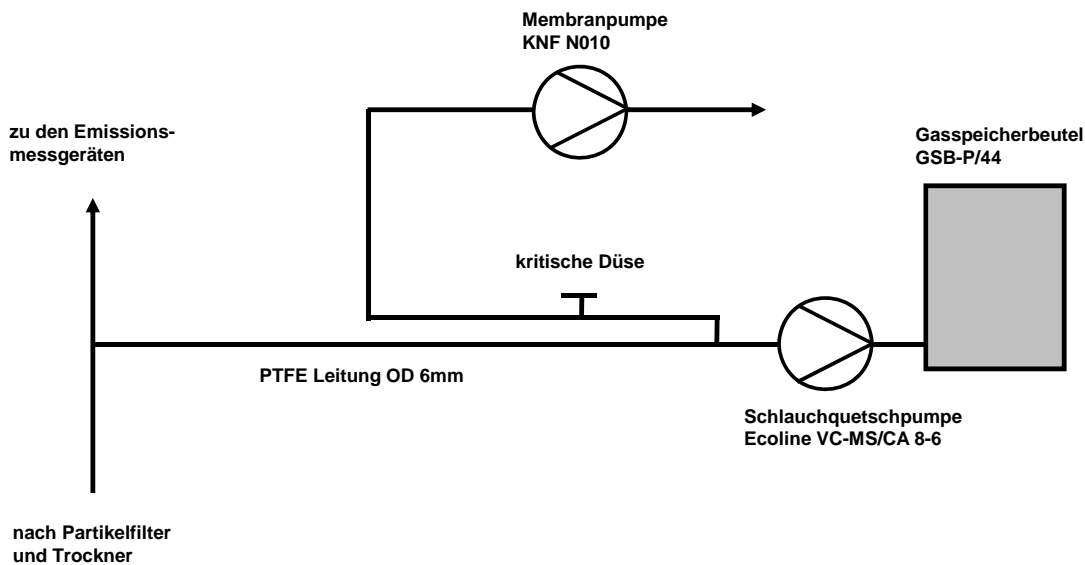


Abbildung 2 Zeitlich integrierende Probenahme des partikelfreien und getrockneten Abgases (KVA Winterthur)



Als Funktionskontrolle für das Probenahmesetup, insbesondere um Undichtigkeiten auszuschliessen, wurde ab der 2. Messkampagne (Oktober 2010) die Sauerstoffkonzentration im Abgas nach der Membranpumpe und nach der Schlauchquetschpumpe bestimmt und wo möglich mit den Messwerten der O₂ Messgeräte der KVA verglichen. Ausserdem wurde die CO₂ Konzentration in den Gasspeicherbeuteln, im Anschluss an die Probenahme, mittels FTIR Spektroskopie (Nicolet Avatar 370 mit kleinvolumiger Gasmesszelle Axiom LFT-210) im Labor bestimmt. Für die Herstellung der Mischprobe (siehe unten) wurden nur Gasproben verwendet deren CO₂ Konzentration > 9% war.

Nach Abschluss einer Messkampagne wurde aus den Abgasproben der Messkampagne mit Hilfe eines Massenflussreglers (Vögtlin Instruments) und einer Membranpumpe (PM25032-022, KNF Neuberger) in einem Gasspeicherbeutel (GSB-P/5, Ritter Apparatebau) eine Mischprobe hergestellt, in welcher der ¹⁴C Gehalt des CO₂ bestimmt wurde.

Ausserdem wurde ein 10 % CO₂ in N₂ Standardgas zur Blindwertbestimmung in einen Gasspeicherbeutel (GSB-P/5, Ritter Apparatebau) abgefüllt. Bei der nachfolgenden AMS Analyse wurde kein ¹⁴CO₂ nachgewiesen, so dass auch für die Abgasproben von keiner Verunreinigung durch Umgebungs-CO₂ auszugehen ist. Dieses Vorgehen entspricht der aktuellen „ISO Standard Entwurfs“, der jedoch bezüglich einer geeigneten Blindwertbestimmung keine konkreten Angaben macht [1].

1.2 ¹⁴C Messung (Universität Bern / ETH Zürich)

Der restliche Wasserdampf wurde in einer Trockeneis / Ethanol - Kühlfalle entfernt und das CO₂ mit flüssigem Stickstoff unter Abtrennung übriger Luftbestandteile an der Universität Bern kryofokussiert. Anschliessen wurde das so gereinigte CO₂ in einer Ampulle abgeschmolzen. Die ¹⁴C-Messung der CO₂-Probe mit Beschleunigermassenspektrometrie wurde am MICADAS-System der ETH Zürich nach Freisetzung aus der Ampulle und Überführung in die Gasionenquelle des Systems durchgeführt. Vergleichsmessung gegen zertifizierte Referenzmaterialien.

1.3 Berechnung der biogenen bzw. fossilen CO₂ Emissionen

Das ¹⁴C/¹²C-Verhältnis der CO₂ Proben wird in „Anteilen modernen Kohlenstoffs“ oder f_M (von „fractions of modern carbon“) angegeben. Das ¹⁴C/¹²C-Verhältnis der Proben wird dabei auf dasjenige des Referenzjahres 1950 bezogen, was durch den Vergleich mit einem Standardreferenzmaterial (SRM 4990B, f_M = 1.0526) erreicht wird [2].

$$f_{M,Probe} = \frac{(^{14}\text{C}/^{12}\text{C})_{Probe}}{(^{14}\text{C}/^{12}\text{C})_{AD1950}} \quad (1)$$

Der „Anteil moderner Kohlenstoff“ f_M kann auch in pMC, d.h. Prozent moderner Kohlenstoff (oder percent modern carbon) angegeben werden (pMC=100 * f_M). Während f_M eine exakt definierte Messgrösse ist, interessiert in der praktischen Anwendung der Anteil des biogenen bzw. fossilen Kohlenstoffs (% Bio C bzw. % Fos C).

$$\% \text{Bio C} = 100\% - \% \text{Fos C} = (f_{M,Probe} / f_{M,bio}) * 100\% \quad (2)$$

Für diese Berechnung benötigt man f_{M,bio}, d.h. die ¹⁴C/¹²C Konzentration des biogenen Materials, im konkreten Fall der biogenen Fraktion des Brennstoffs. Diese ist abhängig vom ¹⁴C Gehalt des atmosphärischen Kohlendioxids während des Wachstums des Brennstoffs und damit wesentlich von dessen Alter [3]. f_{M,bio} kann mit Hilfe einer Monte Carlo Simulation aus dem ¹⁴C Gehalt der biogenen Brennstofffraktionen (frisches organisches Material, Papier/Pappe, Holz) und deren Anteil am Müllaufkommen berechnet werden. Dieser Ansatz wurde im 2006 – 2007 durchgeführten FOCAWIN Projekt angewandt und für das Jahr 2010 ein Referenzwert von 1.113 ± 0.038 (Unsicherheit 1 σ) abgeschätzt [4]. Der aktuelle „ISO Standard Entwurf“ [1] macht bezüglich eines Referenzwertes f_{M,bio} keine konkreten Angaben, er verweist jedoch in seinem Anhang auf das FOCAWIN Projekt [4].

Die Gesamtunsicherheit der Einzelwerte berechnet sich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz aus der Unsicherheit des Referenzwertes f_{M,bio} (6.8% rel. Unsicherheit, 95% Vertrauensbereich) und der Unsicherheit des AMS Messwertes (4.2% rel. Unsicherheit, 95% Vertrauensbereich).

Literatur

- [1] ISO/DIS 13833 (2011): Draft International Standard: Stationary source emissions — Determination of the ratio of biomass (biogenic) and fossil-derived carbon dioxide — Radiocarbon sampling and determination. ISO/TC 146/SC 1/WG 26.
- [2] Stuiver, M. and H.A. Polach (1977), Reporting of ¹⁴C Data - Discussion. Radiocarbon 19(3): 355-363.
- [3] Lewis, C.W., G.A. Klouda, and W.D. Ellenson (2004), Radiocarbon measurement of the biogenic contribution to summertime PM-2.5 ambient aerosol in Nashville, TN. Atmos. Environ. 38(35): 6053-6061.
- [4] Mohn, J., S. Szidat, J. Fellner, H. Rechberger, R. Quartier, B. Buchmann, and L. Emmenegger (2008), Determination of biogenic and fossil CO₂ emitted by waste incineration based on ¹⁴CO₂ and mass balances. Bioresource Technology 99(14): 6471-6479.

2 Resultate

2.1 Fossiler CO₂ Anteil

Tabelle 1 Fossiler CO₂ Anteil (%FosC) im Abgas der beprobten Anlagen

Anlage	Probenahmeintervalle	%FosC [%]	Besondere Vorkommnisse ¹⁾
KVA Buchs (Linie 1)	13.09 – 4.10.10	47.8 ± 4.2	keine
	15.11 – 6.12.10	46.0 ± 4.1	keine
	10.1 – 31.1.11	44.4 ± 4.2	keine
	22.3 – 12.4.11	48.9 ± 4.1	keine
	10.5 – 31.5.11	50.1 ± 4.5	keine
Linie 3	19.7 – 8.8.11	49.0 ± 4.5	Anlagenunterbruch: Bag vom 25.7 – 2.8.11 nicht verwendet
Mittelwert KVA Buchs		47.7 ± 3.6 ²⁾	
KVA Winterthur (Linie 2)	13.09 – 11.10.10	44.0 ± 4.7	Stromunterbruch: Bag vom 20 – 27.9.10 nicht verwendet
	15.11 – 6.12.10	43.5 ± 4.3	keine
	10.1 – 31.1.11	43.1 ± 4.3	keine
	15.3 – 5.4.11	44.1 ± 4.4	keine
	6.6 – 4.7.11	42.3 ± 5.0	keine ³⁾
	11.7 – 2.8.11	43.2 ± 4.9	keine
Mittelwert KVA Winterthur		43.4 ± 3.9 ²⁾	
KVA Linthgebiet (Linie 2)	4.10 – 11.10.10	51.4 ± 3.7	Undichtigkeit in der Probenahme: Bags vom 13.09 – 4.10.10 nicht verwendet
	15.11 – 6.12.10	49.6 ± 3.8	keine
	10.1 – 31.1.11	51.8 ± 3.6	keine
	15.3 – 5.4.11	50.0 ± 3.9	keine
	10.5 – 31.5.11	51.7 ± 3.9	keine
	12.7 – 2.8.11	49.3 ± 4.3	keine
Mittelwert KVA Linthgebiet		50.6 ± 3.4 ²⁾	
UIOM Fribourg (Linie 1)	19.10 – 2.11.10	54.5 ± 3.7	Defekter Pumpenschlauch: Bag vom 2 – 8.11.10 nicht verwendet
	8.2 – 1.3.11	54.8 ± 3.6	keine
	15.6 – 6.7.11	54.0 ± 4.3	keine
Mittelwert UIOM Fribourg		54.5 ± 3.1 ²⁾	
KVA Emmenspitz - Zuchwil (Linie 2)	18.10 – 8.11.10	44.9 ± 4.4	keine
	8.2 – 15.2.11	46.8 ± 4.0	Anlagenunterbruch + Probenahmeproblem: Bags ab 15.02.11 nicht verwendet
	27.6 – 18.7.11	45.9 ± 4.5	keine
Mittelwert KVA Zuchwil		45.9 ± 3.7 ²⁾	

¹⁾ Probenahme sowie KVA gemäss Angaben des Anlagenbetreibers

²⁾ Da die rel. Unsicherheit des Referenzwertes (6.8% rel. Unsicherheit, 95% Vertrauensbereich) grösser ist als der Standardfehler (standard error of the mean) des Anlagenmittelwertes, welcher sich aus der Streuung der Einzelwerte der Anlage berechnet, wurde diese angegeben.

³⁾ 4 Probenahmewochen

2.2 Kehrichtzusammensetzung

Tabelle 2 Kehrichtzusammensetzung der KVA Buchs gemäss Anlagenbetreiber ¹⁾

Monat	Industriekehricht ²⁾		Hauskehricht	
	[t]	[%]	[t]	[%]
Aug 2010	5018	51.9	4647	48.1
Sep 2010	5508	52.9	4899	47.1
Okt 2010	5186	52.1	4762	47.9
Nov 2010	5521	53.8	4738	46.2
Dez 2010	5045	50.0	5053	50.0
Jan 2011	4500	47.3	5016	52.7
Feb 2011	4253	49.1	4405	50.9
Mär 2011	5359	52.9	4765	47.1
Apr 2011	5131	49.5	5238	50.5
Mai 2011	5214	50.5	5103	49.5
Jun 2011	4746	48.7	5006	51.3
Jul 2011	5061	53.0	4495	47.0
Aug 2011	4819	50.0	4810	50.0
Mittelwerte	5028	50.9	4841	49.1

¹⁾ keine Klärschlammverbrennung

²⁾ Barzahler, Industrie und Gewerbe und Sonderabfälle

Tabelle 3 Kehrichtzusammensetzung der KVA Winterthur gemäss Anlagenbetreiber ¹⁾

Monat	Industriekehricht ²⁾		Hauskehricht	
	[t]	[%]	[t]	[%]
Aug 2010	4875	56.4	3762	43.6
Sep 2010	4808	52.4	4359	47.6
Okt 2010	5013	57.2	3750	42.8
Nov 2010	5033	53.6	4349	46.4
Dez 2010	5249	53.6	4552	46.4
Jan 2011	4125	49.2	4264	50.8
Feb 2011	4732	56.4	3660	43.6
Mär 2011	6080	58.5	4305	41.5
Apr 2011	4544	54.1	3852	45.9
Mai 2011	890	19.8	3598	80.2
Jun 2011	5570	57.8	4071	42.2
Jul 2011	5756	57.5	4247	42.5
Aug 2011	4617	54.4	3865	45.6
Mittelwerte	4715	53.8	4049	46.2

¹⁾ keine Klärschlammverbrennung, Rechengut verbrannt jedoch nicht separat erfasst

²⁾ Anlieferung Total – Hauskehricht

Tabelle 4 Kehrichtzusammensetzung der KVA Linthgebiet gemäss Anlagenbetreiber ¹⁾

Monat	Industriekehricht ²⁾		Hauskehricht	
	[t]	[%]	[t]	[%]
Aug 2010	5319	50.6	5199	49.4
Sep 2010	5241	51.6	4925	48.4
Okt 2010	4275	44.0	5443	56.0
Nov 2010	4509	48.1	4864	51.9
Dez 2010	3988	41.4	5644	58.6
Jan 2011	2540	33.3	5077	66.7
Feb 2011	3527	41.6	4950	58.4
Mär 2011	5119	45.4	6157	54.6
Apr 2011	4018	41.5	5661	58.5
Mai 2011	3237	40.6	4733	59.4
Jun 2011	2991	36.4	5219	63.6
Jul 2011	3497	38.7	5533	61.3
Aug 2011	4496	45.2	5441	54.8
Mittelwerte	4058	43.4	5296	56.6

¹⁾ keine Klärschlammverbrennung²⁾ Private + DiverseTabelle 5 Kehrichtzusammensetzung der UIOM Fribourg gemäss Anlagenbetreiber ¹⁾

Monat	Industriekehricht ²⁾		Hauskehricht	
	[t]	[%]	[t]	[%]
Aug 2010	2724	39.2	4225	60.8
Sep 2010	2713	38.5	4329	61.5
Okt 2010	2922	38.0	4767	62.0
Nov 2010	2594	37.7	4291	62.3
Dez 2010	3379	43.1	4467	56.9
Jan 2011	2388	35.9	4262	64.1
Feb 2011	3153	45.1	3838	54.9
Mär 2011	3774	45.1	4602	54.9
Apr 2011	4068	49.1	4220	50.9
Mai 2011	3648	42.6	4921	57.4
Jun 2011	3047	39.8	4610	60.2
Jul 2011	3605	44.5	4505	55.5
Aug 2011	2751	39.0	4304	61.0
Mittelwerte	3136	41.6	4411	58.4

¹⁾ separate Klärschlammverbrennung¹⁾²⁾ Anlieferung Total – Hauskehricht

Tabelle 6 Kehrichtzusammensetzung der KVA Emmenspitz - Zuchwil gemäss Anlagenbetreiber

Monat	Industriekehricht ¹⁾		Hauskehricht		Klärschlamm ²⁾	
	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]
Aug 2010	9055	49.0	8888	48.1	534	2.9
Sep 2010	9575	51.1	8627	46.0	535	2.9
Okt 2010	8724	49.9	8269	47.3	488	2.8
Nov 2010	8848	48.5	8887	48.7	509	2.8
Dez 2010	8164	46.8	8696	49.9	576	3.3
Jan 2011	7424	44.9	8585	51.9	522	3.2
Feb 2011	7930	49.1	7745	48.0	470	2.9
Mär 2011	9447	48.2	9554	48.7	597	3.0
Apr 2011	8640	47.9	8839	49.0	565	3.1
Mai 2011	9503	49.6	9118	47.6	547	2.9
Jun 2011	8348	47.6	8677	49.5	496	2.8
Jul 2011	9221	50.7	8504	46.8	461	2.5
Aug 2011	3)	3)	3)	3)	3)	3)
Mittelwerte	8740	48.7	8699	48.4	525	2.9

¹⁾ Barzahler, Industrie und Gewerbe und Sonderabfälle

²⁾ Rechengut + Klärschlamm (TS)

³⁾ noch keine Angaben erhalten

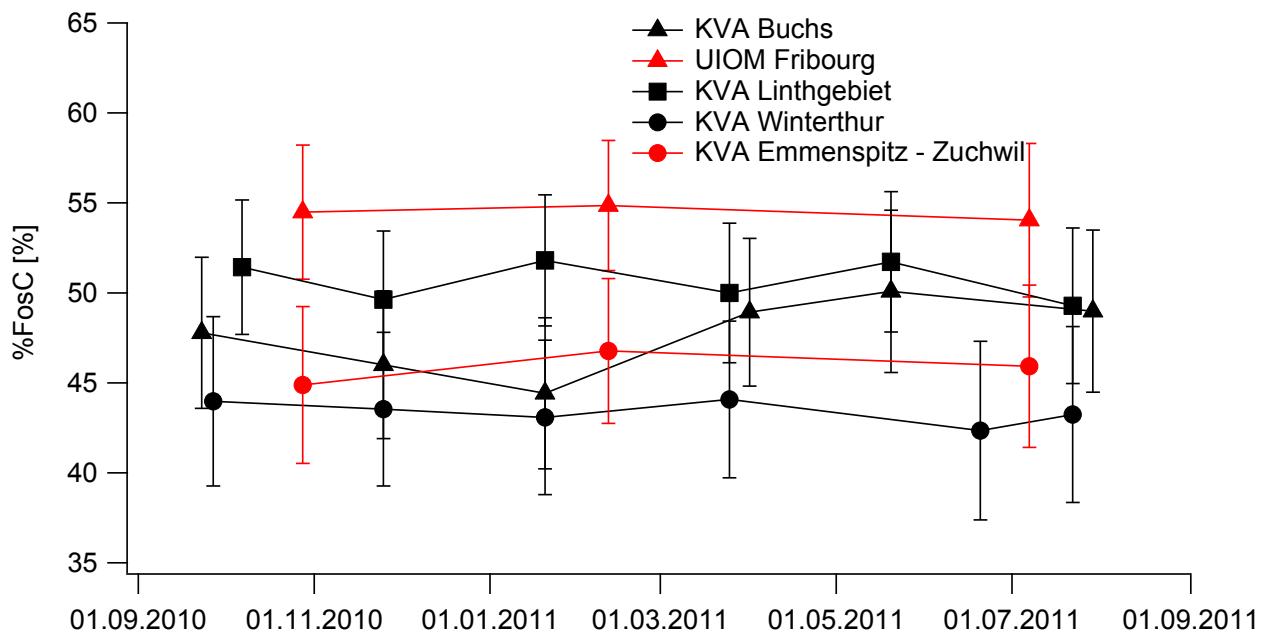
3 Diskussion der Ergebnisse

Die Anteil der fossilen CO₂ Emissionen (%FosC) wurden an fünf KVAs über ein Jahr bestimmt, wobei an drei Anlagen (KVA Buchs, KVA Winterthur und KVA Linthgebiet) sechs Messkampagnen, an zwei Anlagen (UIOM Fribourg und KVA Emmenspitz Zuchwil) drei Messkampagnen über jeweils drei Wochen durchgeführt wurden. Auf Grund dieser Messungen soll sowohl der Einfluss jahreszeitlicher Variationen der Kehrlichzusammensetzung auf den Anteil der fossilen CO₂ Emissionen abgeschätzt, als auch Unterschiede zwischen den Anlagen erfasst werden.

3.1 Jahreszeitlicher Verlauf der fossilen CO₂ Emissionen

Die jahreszeitliche Variation des Anteils der fossilen CO₂ Emissionen der einzelnen Anlagen ist gering und uneinheitlich (Tabelle 1, Abbildung 3). Für alle Anlagen, mit Ausnahmen der KVA Buchs, war die Abweichung der Einzelwerte vom Anlagenmittelwert deutlich geringer als die Unsicherheit der ¹⁴CO₂ Bestimmung mittels AMS (4.2% rel. Unsicherheit, 95% Vertrauensbereich). Dies bedeutet, dass ein Jahrgang im ¹⁴CO₂ Anteil dieser Gasproben auf Grund unserer Messungen nicht festgestellt werden kann.

Abbildung 3 Jahreszeitlicher Verlauf des Anteils fossiler CO₂ Emissionen auf den beprobten Anlagen. Anteil der fossilen CO₂ Emissionen der KVA Buchs im Januar 2011 reduziert, mögliche Ursache ist die Mitverbrennung von „Sperrgut-Ballen“.



Der tiefere Anteil der fossilen CO₂ Emissionen der KVA Buchs im Januar 2011 könnte durch eine Mitverbrennung von „Sperrgut-Ballen“ verursacht worden sein. Während der CO₂ Probenahme (10. – 31.1.2011) wurden ca. 500 t dieser Ballen verbrannt, die aus Bauabfällen, Holz und Kunststoff bestehen, dies entspricht etwa 7 – 8% der in dieser Zeit angelieferten Kehrlichmenge. Im Gegenzug könnte der etwas erhöhte Anteil der fossilen CO₂ Emissionen der KVA Buchs im Frühjahr – Sommer 2011 zumindest teilweise durch das Abtrennen von Sperrgut zur „Ballen-Produktion“ verursacht worden sein. Einschränkend ist zu sagen, dass dieser Effekt

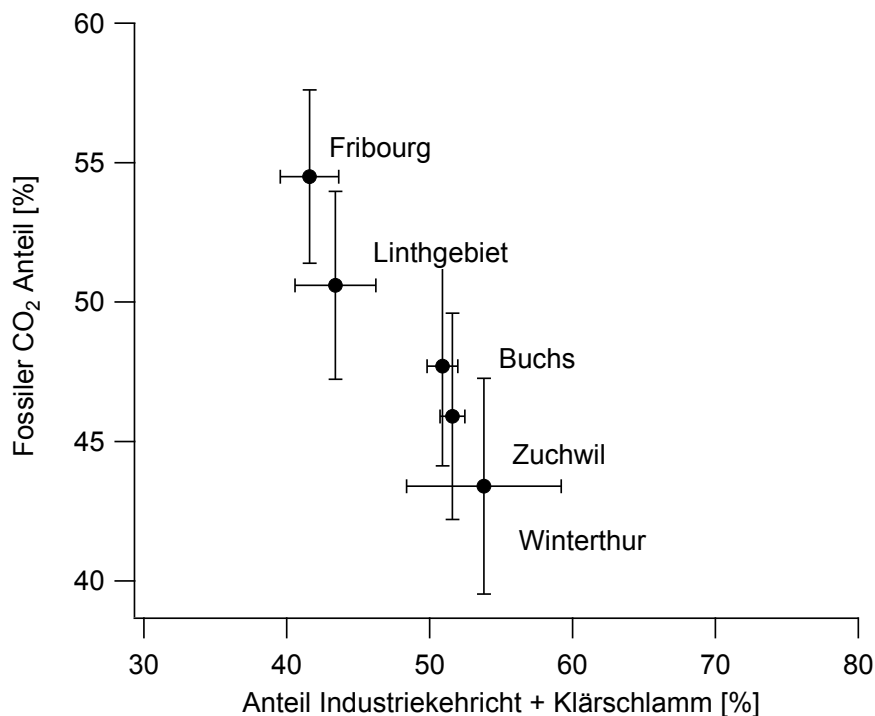
in den %FosC Werten der UIOM Fribourg, in der ebenfalls Ballen produziert und verbrannt werden, nicht zu beobachten ist.

3.2 Fossile CO₂ Emissionen unterschiedlicher KVAs

Die Anteile der fossilen CO₂ Emissionen der verschiedenen KVAs unterscheiden sich signifikant voneinander (Tabelle 1). Die KVA Winterthur weist den tiefsten Anteil fossiler CO₂ Emissionen auf, der %FosC Anteil der übrigen Anlagen nimmt in der Reihenfolge KVA Emmenspitz – Zuchwil, KVA Buchs, KVA Linthgebiet und UIOM Fribourg zu. Trägt man den Anteil der fossilen CO₂ Emissionen der Anlagen (Mittelwert aller Messkampagnen) über den Anteil des Industriekehrichts dieser Anlagen (Jahresmittelwert August 2010 – August 2011) auf, so ergibt sich ein deutlicher Zusammenhang (Abbildung 4). Der auf der KVA Emmenspitz – Zuchwil mitverbrannte Klärschlamm (2.9%) wurde hierbei dem Industriekehricht zugeschlagen.

Gegen eine Verwendung des Industriekehrichtanteils zur Abschätzung des Anteils der fossilen CO₂ Emissionen spricht, dass die Kategorie „Industriekehricht“ keine definierte Zusammensetzung aufweist, sondern üblicherweise alle Privatanlieferer zusammengefasst. Die Kehrlichtzusammensetzung einzelner Privatanlieferer kann dabei der von Hauskehricht entsprechen. Ausserdem ist ein direkter Zusammenhang der beiden Grössen für einzelne Messkampagnen einer Anlage nicht erkennbar. So kann auch bei erheblichen Variationen der Monatsmittelwerte des Industriekehrichtanteils (z.B. KVA Winterthur, Tabelle 3), keine entsprechende Variation der %FosC Werte beobachtet werden.

Abbildung 4 Anteil des fossilen CO₂ der verschiedenen Kehrlichtverbrennungsanlagen in Abhängigkeit des Anteils des verbrannten Industriekehrichts. Als Unsicherheitsangabe für den Industriekehrichtanteil wurde der Standardfehler (standard error of the mean) der Monatswerte verwendet.



3.3 Vergleich der Ergebnisse mit FOCAWIN I (2006 - 2007)

Im Rahmen der Untersuchung FOCAWIN I (Fossil carbon dioxide emissions from waste incineration facilities) wurde im Zeitraum Oktober 2006 bis Februar 2007 eine Bestimmung des Anteils der fossilen CO₂ Emissionen an drei KVAs (KVA Buchs, KVA Limmattal, KVA Turgi) durchgeführt. Dabei wurde auf jeder Anlage im Zeitraum von etwa einem Monat über 9 oder 10 Zeitintervalle von drei bis vier Tagen jeweils eine repräsentative CO₂ Probe gesammelt. In sechs ausgewählten Proben wurde ¹⁴CO₂ analysiert und der Anteil der fossilen CO₂ Emissionen berechnet. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 7 angegeben:

Tabelle 7 Anteil der fossilen CO₂ Emissionen, der KVA Buchs (Okt – Nov 2006), Limmattal (Nov – Dez 2006) und Turgi (Jan – Feb 2007).

Fossile CO ₂ Emissionen [%]		
KVA Buchs	KVA Limmattal	KVA Turgi
45.2 ± 3.8	52.7 ± 3.3	51.0 ± 3.4
48.7 ± 3.5	47.8 ± 3.6	51.6 ± 3.3
46.6 ± 3.7	50.0 ± 3.4	44.4 ± 3.8
48.1 ± 3.6	49.9 ± 3.5	49.4 ± 3.5
47.0 ± 3.6	40.8 ± 4.0	51.8 ± 3.3
48.2 ± 3.6	46.4 ± 3.7	44.6 ± 3.8
47.3 ± 3.5 ¹⁾	47.9 ± 3.5 ¹⁾	48.8 ± 3.4 ¹⁾

¹⁾ Da die rel. Unsicherheit des Referenzwertes (6.8% rel. Unsicherheit, 95% Vertrauensbereich) grösser ist als der Standardfehler (standard error of the mean) des Anlagenmittelwertes, welcher sich aus der Streuung der Einzelwerte der Anlage berechnet, wurde diese angegeben.

In der vorliegenden Untersuchung wurde nur die KVA Buchs nochmals beprobt. Bezüglich der Jahreszeit sind die Perioden vom 13.09 - 4.10.2010 und 15.11 - 6.12.2010 vergleichbar. Die entsprechenden Werte für %FosC (47.8 ± 4.2, 46.0 ± 4.1) stimmen sehr gut mit dem Mittelwert (47.3 ± 3.5) von 2006 überein.

3.4 Abschätzung eines schweizerischen Jahresmittelwerts

Die fossilen Emissionen (%FosC) der untersuchten Anlagen betragen $48.4 \pm 3.8 \%$ (Mittelwert), bzw. $47.7 \pm 3.8 \%$ (Median), wobei als Messunsicherheit die einfache Standardabweichung der Anlagenmittelwerte angegeben wird.

Diese Jahresmittelwerte sind sehr konsistent mit der Untersuchung von Oktober 2006 bis Februar 2007, bei der sich für drei Anlagen ein Mittelwert von $48.0 \pm 1.7 \%$ FosC ergeben hat.

Auf Grund der unerwartet geringen und wenig einheitlichen jahreszeitlichen Variationen können diese nicht für die Abschätzung des Jahresmittelwerts berücksichtigt werden. Auch scheint es nicht zielführend, den Zusammenhang zwischen dem Anteil des verbrannten Industriekehrichts und dem Anteil des fossilen CO₂ zu berücksichtigen, da dieser innerhalb einzelner Anlagen nicht klar ersichtlich ist und die Kategorie „Industriekehricht“ unterschiedlich verwendet wird, bzw. keine einheitliche Zusammensetzung besitzt.

Werden die Anlagenmittelwerte mit der verbrannten Kehrlichtmenge gewichtet, so ergibt sich ein Mittelwert von $47.8 \pm 3.8 \%$ FosC über alle Anlagen, welcher sich nicht signifikant von den obigen Werten unterscheidet. Bei der Wahl der untersuchten Anlagen wurde darauf geachtet, dass diese soweit möglich die typischen Verhältnisse von schweizerischen KVA abbilden. Auf Grund der kleinen Stichprobe kann jedoch nicht auf die statistische (Normal)Verteilung der Daten geschlossen werden. Auf Grund dieser Überlegungen scheint der Median von $47.7 \pm 3.8 \%$ die mittleren fossilen Emissionen der Schweizerischen Kehrlichtverbrennungsanlagen am besten zu repräsentieren.