



BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
OFEFP Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
UFAPF Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio
UFAGC Uffizi federal d'ambient, gaud e cuntrada

Projekt LEA

Emissionsfaktoren aus der Abfallverbrennung

Schlussbericht

Zürich, 22.08.2005

tbf TBF + Partner AG
Planer und Ingenieure

Turnerstrasse 25
Postfach
CH-8033 Zürich
T: +41 43 255 23 00
F: +41 43 255 23 99
E: tbf@tbf.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage und Auftrag	1
2.	Grundlagen	2
3.	Methodik und Annahmen	3
3.1	Methodik	3
3.2	Annahmen zu den Sonderzuständen	4
4.	Berechnungen	6
4.1	Emissionen aus Normalbetrieb	6
4.2	Zusatz - Emissionen aus Sonderzuständen	6
5.	Zusammenfassung der Ergebnisse	8
5.1	Emissions- Faktoren	8
5.2	Vergleich mit Literaturdaten	9
6.	Empfehlungen	10
6.1	Verbesserung der Datenqualität und Anpassungen an den kontinuierlich arbeitenden Messsystemen	10
6.2	Standardisierung der Berichterstattung	10
A	Standardisierung der Berichterstattung	I
B	Herleitung spezifischer Abgasvolumenstrom	I
C	Literaturrecherche (Zusammenfassung)	I
A	Standardisierung der Berichterstattung	I
1.	Aufgabe	I
2.	Ausgangslage	I
3.	Beurteilung der vorliegenden Jahresberichte	II
4.	Vorschläge zur Standardisierung der Berichterstattung	IV
4.1	Grundvariante	IV
4.2	Erweiterte Grundvariante	IV
5.	Bewertung der Standardisierungsvorschläge	V
5.1	Grundvariante	V
5.2	Erweiterte Grundvariante	V
B	Spezifischer Abgasvolumenstrom	I
Ergebnis		I
C	Literaturrecherche (Zusammenfassung)	I

Ergebnisse

I

ANHANG

1. Ausgangslage und Auftrag

Die gegenwärtig verfügbaren Emissionsfaktoren aus der Abfallverbrennung basieren auf dem Stand von 1990. In der Zwischenzeit hat die LRV-Revision von 1992 bei verschiedenen Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) eine Sanierung bzw. eine Nachrüstung bewirkt. Ausserdem wurden einige ältere Verbrennungslinien stillgelegt und zum Teil durch moderne, emissionsärmere Linien ersetzt. Der Aktualisierungsbedarf betreffend Luftemissionsdaten der schweizerischen Abfallverbrennungsanlagen ist somit gegeben.

Neu sollen, neben den Emissionen aus dem sogenannten Normalbetrieb der KVA, auch die bis heute noch nicht berücksichtigten Emissionen aus den Sonderzuständen, d.h. bei Verwendung von Umfahrungsleitungen sowie bei An- und Abfahrvorgängen, mit einbezogen werden. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Ermittlung von aggregierten "nationalen" Emissionsfaktoren mit anteilmässiger Berücksichtigung der Emissionen aus den verschiedenen Betriebszuständen. Die Datengrundlage hierfür bilden die von den verschiedenen Akteuren - u.a. vom Buwal - zur Verfügung gestellten Unterlagen.

Zur Bewertung und allfälligen Ergänzung der Ergebnisse soll im Rahmen dieser Studie eine kurze Literaturrecherche (Schweiz und angrenzende Länder) vorgenommen werden.

Mit der Absicht, die Auswertung künftiger Datenerhebungskampagnen zu erleichtern, soll schliesslich ein Vorschlag für eine standardisierte Berichterstattung der KVA- Betreiber an die zuständige Behörde ausgearbeitet werden.

Die Firma TBF + Partner AG wurde vom Buwal mit der Durchführung obiger Untersuchungen beauftragt. Zudem wurde vom Buwal für dieses Projekt eine Begleitgruppe mit nachfolgender Zusammensetzung eingesetzt:

<i>Institution</i>	<i>Vertreterin / Vertreter</i>	
Buwal (Auftraggeber)	Abt. Luftreinhaltung	Robin Quartier
	Abt. Abfall	Michael Hügi
Kantonale Fachstelle	beco	Hans Mathys, Peter Matti
Fachexperten	VBSA	Peter Steiner
	Airmes AG	Michel André
	EMPA Dübendorf	Brigitte Buchmann, Lukas Emmenegger
TBF + Partner AG (Auftragnehmer)		Rudolf Müller, Matthias Walther

2. Grundlagen

Als Basisjahr für die Untersuchung wurde das Jahr 2003 gewählt. Die verwendeten Daten stammen aus u.a. vom Buwal zur Verfügung gestellten Messberichten (Kontrollmessungen, Jahresauswertungen von kontinuierlichen Messungen) sowie aus diversen Angaben von KVA- Betreibern. Von den im Jahr 2003 insgesamt betriebenen 28 KVA (ohne die KVA Thun, welche sich ab Herbst 2003 in der Phase der Warminbetriebnahme befand) liegen verwertbare Daten, allerdings mit zum Teil eingeschränktem Schadstoff-Spektrum, aus 25 KVA vor.

Anmerkungen zu Qualität und Umfang der Daten:

Die kritische Sichtung der vorliegenden Daten im Hinblick auf die Ermittlung von E-Faktoren aus dem Normalbetrieb zeigt, dass

- a) das Spektrum der untersuchten Schadstoffe in den einzelnen Kontroll- Messberichten sehr breit ist,
- b) die überwiegende Zahl dieser Messberichte neben den Schadstoffgehalten lediglich Abgasvolumenströme, bzw. die daraus berechneten stündlichen Schadstofffrachten, jedoch keine Angaben über die während den Messungen tatsächlich verbrannten Kehrrichtmen- gen und somit über E- Faktoren enthalten und
- c) die Qualität der vorliegenden Daten aus kontinuierlichen Messungen und die Anzahl der Datensätze (Jahresauswertungen) zur Bestimmung von E-Faktoren nicht ausreichend sind (siehe hierzu auch die Ausführungen im Anhang A).

Die Anzahl und die Qualität der vorliegenden (manuellen) Kontroll- bzw. Abnahmemessungen erachten wir zum Zweck der Bestimmung von E- Faktoren für den Normalbetrieb als ausreichend.

Im Gegensatz dazu ist die Datenlage zur Bestimmung der E- Faktoren aus Sonderzuständen äusserst schmal. Sowohl Betriebsangaben über Art, Anzahl und Dauer der Ereignisse als auch Emissions- Messdaten wie Abgasvolumenströme und Schadstoffgehalte bzw. -frachten liegen nur ansatzweise vor. Zur Behebung dieses Mangels wurden, gestützt auf vereinzelte Angaben von Betreibern sowie auf Erfahrungswerte, die in Kap. 3.2 aufgeführten Annahmen getroffen.

3. Methodik und Annahmen

3.1 Methodik

Grundsätze:

1. E-Faktoren sind repräsentativ für das Emissionsverhalten schweizerischer KVA. Darin sind - neben dem Normalbetrieb - anteilmässig auch die Emissionen aus Sonderbetriebszuständen (An- und Abfahren, Betrieb von Umfahrungsleitungen) eingeschlossen.
2. Die Bestimmung der E-Faktoren erfolgt zunächst anlagen-, bzw. linienweise, anschliessend in der Form von nach der verbrannten Abfallmenge gewichteten Mittelwerten.
3. E-Faktoren basieren für den Normalbetrieb generell, für die Sonderzustände soweit möglich auf gemessenen Daten sowie ergänzenden Annahmen.

Mögliches Vorgehen:

Zur Ermittlung von E-Faktoren anhand der vorliegenden Daten bieten sich drei Varianten an:

Variante	Datengrundlage (pro Linie bzw. KVA)		Ermittlung E-Faktoren aus Sonderzuständen (CH)	Resultat (CH)
1	<i>Kontinuierliche Messungen</i> mit lückenloser Bestimmung der E-Frachten über alle Betriebszustände	<ul style="list-style-type: none"> - E-Frachten [g/a] über alle Betriebszustände - verbrannte Abfallmenge [t/a] 	in Datengrundlage enthalten	E-Faktoren
2	<i>Abnahme- bzw. Kontrollmessungen</i> mit Angabe der E-Faktoren aus dem Normalbetrieb	<ul style="list-style-type: none"> - E-Faktoren [g/t] aus dem Normalbetrieb 	<ul style="list-style-type: none"> - Zusätzliche (über dem Normalbetrieb liegende), geschätzte Jahresfrachten [g/a] - verbrannte Abfallmenge [t/a] 	Summe E-Faktoren aus Normalbetrieb + Zusatz- E-Faktoren aus Sonderzuständen
3	<i>Abnahme- bzw. Kontrollmessungen</i> mit Angabe der stündlichen E-Frachten aus dem Normalbetrieb	<ul style="list-style-type: none"> - E-Frachten [g/h] aus dem Normalbetrieb [g/h] - Anzahl Jahresbetriebsstunden [h/a] - verbrannte Abfallmenge [t/a] 	analog Variante 2	analog Variante 2

Wahl der Methodik:

Die vorliegende Datenlage und -qualität (siehe auch Kap. 2.1 sowie die Ausführungen im Anhang A) erlauben weder ein Vorgehen gemäss der Variante 1, noch der Variante 2. Gegen die Variante 1 sprechen die beschränkte Anzahl von Datensätzen aus kontinuierlichen Messungen sowie deren zum Teil fragliche Qualität, gegen die Variante 2 die lediglich für wenige KVA vorliegenden Datensätze.

Zur Bestimmung der E-Faktoren wurde gemäss der Variante 3 in der oben beschriebenen Methodik wie folgt vorgegangen:

a) Normalbetrieb

Auf der Grundlage der Messdaten (meist eine gemittelte stündliche Schadstofffracht im Normalbetrieb) und der bei den KVA-Betreibern erhobenen Jahresbetriebsdauer wird die Jahresfracht ermittelt. Die Division durch die pro Jahr verbrannte Kehrichtmenge ergibt den auf eine KVA, bzw. eine Linie bezogenen E-Faktor aus dem Normalbetrieb (Einzelwert). Für den daraus ermittelten gesamtschweizerischen Mittelwert werden die Einzelwerte mit den jeweiligen Abfallmengen gewichtet.

b) Sonderzustände

Für die über die Emissionen aus dem Normalbetrieb hinausgehenden Emissionen aus den Sonderzuständen werden sogenannte Zusatz- E- Faktoren ermittelt. Dabei werden für den An- und Abfahrzyklus und für die Verwendung von Umfahrungsleitungen gesamtschweizerisch einheitliche Annahmen über Art, Anzahl und Dauer dieser Ereignisse sowie über die daraus resultierenden Zusatz- Frachten getroffen (siehe Kap. 3.2).

Die Summe aus den mittleren gesamtschweizerischen E-Faktoren aus dem Normalbetrieb und den Zusatz- E- Faktoren aus den Sonderzuständen ergibt das gewünschte Ergebnis. Die gewählte Methodik ergibt in Anbetracht der Datenlage, die am breitesten abgestützten Ergebnisse, verbunden mit einem für alle KVA möglichst einheitlichen Vorgehen.

3.2 Annahmen zu den Sonderzuständen

3.2.1 An- und Abfahrphase

a) Mittlere Anzahl und Dauer

Die nachfolgenden Angaben sind Mittelwerte und stammen aus einer Umfrage bei den KVA-Betreibern.

Die An- und Abfahrphase werden zu einer Einheit (Zyklus) zusammengefasst. Im Mittel erfolgt dieser Zyklus 4.5-mal pro Linie und Jahr. Für alle KVA wird die Dauer dieses Zyklus einheitlich mit 6 h veranschlagt. Während dieser Zeit werden die KVA nie ohne Elektrofilter und nie ohne Wäscher, jedoch während einer gewissen Dauer ohne Denox- Anlage betrieben.

Die mit SCR (Roh- und Reingasschaltungen) ausgerüsteten KVA werden, über die genannten 6 h des An- und Abfahrzyklus hinaus, zusätzlich während weiteren 6 h ohne Denox- Anlage, die mit SNCR ausgerüsteten KVA bleiben während dieses Zyklus während 3 h ausser Betrieb (ohne Ammoniakeindüsung).

b) Spezifischer Abgasvolumenstrom, Gehalte

Siehe untenstehende Tabelle.

3.2.2 Verwendung von Umfahrungsleitungen

a) Häufigkeit, Dauer

Ebenfalls aufgrund von Betreiberangaben wird angenommen, dass im Durchschnitt pro Jahr und Linie

- der Wäscher während 20 h umfahren wird. Dies bedeutet, dass bei den mit SCR- Reingasschaltung ausgerüsteten KVA die Denox- Anlage während dieser Zeit ebenfalls umfahren wird. Bei den mit SNCR ausgerüsteten KVA fällt während dieser Zeit die Stickoxid- und die Dioxinminderung aus.
- die SCR- Anlage während 100 h umfahren wird, wobei bei der SCR- Reingasschaltung 20 Ausfallstunden durch den Ausfall des vorgeschalteten Wäschers bedingt sind.

b) Gehalte, spezifischer Abgasvolumenstrom

In der nachstehenden Tabelle sind die für die Berechnung der Emissionen aus dem Sonderbetrieb angenommenen zusätzlichen, über den Schadstoffgehalten im Normalbetrieb liegenden Gehalte (mg/m^3) und die Abgasvolumenströme (m^3/t Kehricht) ¹⁾ zusammengestellt. Alle Angaben sind bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand und einen O_2 -Gehalt von 11%

		<i>Verwendung Umfahrungsleitung</i>	<i>An- und Abfahrzyklus (6 h)</i>
Abgasvolumenstrom	$[\text{m}^3/\text{h}]$	6'880	5'850 (85%)
(Zusatz-) Gehalte			
	NO_x $[\text{mg}/\text{m}^3]$	280	100
	PCDD/F $[\text{ng}/\text{m}^3]$	1.0 (3.0) ²⁾	1.0(3.0) ²⁾
	SO_2 $[\text{mg}/\text{m}^3]$	250	0
	HCl $[\text{mg}/\text{m}^3]$	800	0
	CO $[\text{mg}/\text{m}^3]$	0	80
	VOC $[\text{mg}/\text{m}^3]$	0	300

Legende:

¹⁾ Herleitung siehe Anhang B

²⁾ Die Annahme, wonach der PCDD/F - Zusatzgehalt $1.0 \text{ ng}/\text{m}^3$ beträgt ist eher konservativ. Die Zusatzemissionen werden deshalb auch mit einem Zusatzgehalt von $3.0 \text{ ng}/\text{m}^3$ berechnet.

4. Berechnungen

Die Berechnungen entsprechen dem im Kap. 3.1 für die Variante 3 beschriebenen Rechengang.

4.1 Emissionen aus Normalbetrieb

Die Zusammenstellung auf S. 7 zeigt die Herleitung der E-Faktoren aus dem Normalbetrieb. Abhängig vom Schadstoff und der Datenlage repräsentieren die ermittelten E-Faktoren zwischen 48 (PCDD/F) und 78 % (NO_x und CO) der im Jahr 2003 verbrannten Kehrichtmenge.

4.2 Zusatz - Emissionen aus Sonderzuständen

Die Tabelle auf S. 7 zeigt die Berechnung der Zusatz -E-Faktoren. Die dabei getroffenen Annahmen sind:

Generell werden die beiden Sonderzustände (An- und Abfahrzyklus bzw. Betrieb von Umfahrungeleitungen) sowie je die mit SCR (Roh- und Reingasschaltung) und die mit SNCR- Anlagen ausgerüsteten KVA unterschieden. Die Gewichtung SCR / SNCR geschieht proportional zur verbrannten Kehrichtmenge.

Betriebsdaten, Abfallmengen (2003):

Betriebsstunden	[h/a]	8'000	
Abfallmengen	[t/a]	3'010'323	100 %
davon KVA mit SCR (37 Linien)	[t/a]	2'143'796	71.2 %
mit SNCR (18 Linien)	[t/a]	821'812	27.3 %
ohne Denox (2 Linien)	[t/a]	44'715	1.5 %

Berechnung der E- Faktoren aus dem Normalbetrieb:

	Staub g/t	NO _x g/t	CO g/t	VOC g/t	SO ₂ g/t	HCl g/t	HF g/t	NH ₃ g/t	Pb + Zn g/t	Cd g/t	Hg g/t	PCCDD/F µg/t
Arithmetischer Mittelwert	10.6	402	136	13.7	58.6	18.3	2.07	6.4	1.71	0.030	0.086	2.91
Anzahl Werte	30	31	31	26	30	27	23	24	26	26	25	20
min	1.0	193	14	2.3	0.3	0.2	0.03	0.1	0.26	0.002	0.006	0.01
max	41.4	697	294	23.2	203.0	222.9	8.62	40.4	8.17	0.088	0.356	17.63
Gewichtet nach Abfallmenge (Normalbetrieb)	8.9	379	120	12.4	57.9	14.9	1.89	6.0	1.64	0.032	0.095	1.40
Anteil Kehrichtmenge 2003	71%	78%	78%	66%	71%	69%	53%	59%	65%	65%	61%	48%

Berechnung der Zusatz- E- Faktoren:

Zusatz - Emissionen aus An- und Abfahrzyklus							SNCR-Anlagen (821'812 t/a)						Total Bei- träge SCR + SNCR
SCR-Anlagen (2'143'796 t/a) ohne Kat. bei red. Abgasvolumenstrom			zusätzlich ohne Kat. bei norm. Vol.strom				ohne SNCR			zusätzlich mit SNCR			
	[kg/Zyklus]	[kg/a]	[g/t]	[kg/Zyklus]	[kg/a]	[g/t]	[kg/Zyklus]	[kg/a]	[g/t]	[kg/Zyklus]	[kg/a]	[g/t]	[g/t]
NO _x	940.3	4'231.2	1.974	3'097.4	13'938.1	6.502	180.2	811.0	0.987	0.0	0.0	0.000	6.40
PCDD/F * 10 ⁻³	9.4	42.3	0.020	11.1	49.8	0.023	1.8	8.1	0.010	0.0	0.0	0.000	0.03
CO	752.2	3'385.0	1.579	0.0	0.0	0.000	144.2	648.8	0.789	144.2	648.8	0.789	1.58
VOC	2'820.8	12'693.6	5.921	0.0	0.0	0.000	540.7	2'433.0	2.961	540.7	2'433.0	2.961	5.92

Zusatz - Emissionen aus Betrieb von Umfahrsleitungen							SNCR-Anlagen						
SCR-Anlagen ohne Wäscher			ohne Kat.				ohne Wäscher, inkl. Ausfall NH ₃ - Eindüsung						
	[kg/h]	[kg/a]	[g/t]	[kg/h]	[kg/a]	[g/t]	[kg/h]	[kg/a]	[g/t]	[kg/h]	[kg/a]	[g/t]	[g/t]
NO _x	0.0	0.0	0.000	516.2	51'622.6	24.080	197.9	3'957.8	4.816				18.74
PCDD/F * 10 ⁻³	0.0	0.0	0.000	1.8	184.4	0.086	0.7	14.1	0.017				0.07
SO ₂	460.9	9'218.3	4.300	0.0	0.0	0.000	176.7	3'533.8	4.300				4.30
HCl	1'474.9	29'498.6	13.760	0.0	0.0	0.000	565.4	11'308.1	13.760				13.76

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

5.1 Emissions- Faktoren

Schadstoff	aus Normalbetrieb	Emissionsfaktor [g/t] zusätzlich aus Sonderbetrieb		Total
		An- und Abfahrphase	Betrieb Umfah- rungsleitungen	
Staub ¹⁾	8.9			8.9
Summe Pb + Zn ¹⁾	1.64			1.64
Cd ¹⁾	0.032			0.032
Hg ¹⁾	0.095			0.095
SO _x	58	0	4	62
NO _x	379	6	19	404
HCl	14.9	0	13.8	28.7
HF ²⁾	1.89	0	1.75	3.6
NH ₃ ³⁾	6.0			6.0
VOC	12.4	5.9	0	18.3
CO	119.6	1.6	0	121
PCDD/F [$\mu\text{g/t}$] ⁴⁾	1.40	0.03 (0.10)	0.07 (0.20)	1.50 (1.70)

Legende:

¹⁾ Zusatz- E- Faktoren sind vermutlich bei Umföhrung Wäschers relevant, können jedoch mangels Daten nicht abgeschätzt werden

²⁾ Annahme: Zusatz- E- Faktoren proportional zu HCl

³⁾ Zusatz- E- Faktoren sind wahrscheinlich negativ, da Denox- Anlagen bei Sonderbetrieb ausser Betrieb sind.

⁴⁾ PCDD - Zusatzgehalt 1.0 ng/m³, Werte in Klammern entsprechen 3.0 ng/m³

Die Streubreiten der Einzelwerte aus dem Normalbetrieb (S.7) sind bemerkenswert gross. Minima und Maxima liegen bis zu einem Faktor von ca. 1'800 auseinander (PCDD/F). Für HCl beträgt der Faktor ca. 1'100. Relativ enge Streubreiten liegen vor für NO_x (f = ca. 4), für VOC (f = ca. 10) und für CO (f = ca. 20).

Die Anteile der zusätzlichen Beiträge aus dem Sonderbetrieb (An- und Abfahrzyklus sowie Betrieb von Umföhrungsleitungen) am Gesamt- E- Faktor betragen für HCl rund 50, für VOC rund 30 sowie für NO_x, und SO_x je knapp 10%. Für PCDD/F betragen die Anteile bei einem Zusatzgehalt von 1.0 ng/m³ ebenfalls knapp 10, bei einem Zusatzgehalt von 3.0 ng/m³ knapp 20%.

5.2 Vergleich mit Literaturdaten

Werden obige Daten aus dem Normalbetrieb mit Angaben aus der neueren Literatur verglichen, so liegen die E-Faktoren aus schweizerischen KVA generell eher im unteren Bereich der in der Literatur gefundenen Bandbreite. Erschwerend für eine schlüssige Interpretation von Literaturdaten ist der Umstand, dass die Berechnungs- Methodik nicht oder nur sehr rudimentär beschrieben ist.

Die in der Literatur für einzelne KVA beschriebenen PCDD/F-Reingas-Gehalte im Normalbetrieb liegen teilweise deutlich unter 0.1 ng/m^3 . Typische Werte für die entsprechenden Emissionsfaktoren liegen somit zwischen 0.1 und $0.8 \text{ } \mu\text{g/t}$. Ein Befund, der auch für moderne, mit Katalysatoren ausgerüstete schweizerische KVA gilt.

Die nur spärlich vorhandenen Daten über PCDD/F-Reingas-Gehalte im Anfahrbetrieb mit Gehalten bis 80 ng/m^3 lassen vermuten, dass der oben genannte Beitrag zum E-Faktor von $0.16 \text{ } \mu\text{g/t}$ effektiv höher liegen könnte.

Die Zusammenfassung der durchgeführten Literaturrecherche befindet sich im Anhang C

6. Empfehlungen

6.1 Verbesserung der Datenqualität und Anpassungen an den kontinuierlich arbeitenden Messsystemen

Aus verschiedenen Kontrollmessberichten und den dabei vorgenommenen Vergleichsmessungen geht hervor, dass die Ergebnisse von kontinuierlichen Messungen (Jahresberichte) relativ häufig mit Fehlern behaftet sind. Bei 12 KVA wurde gleichzeitig mit der Durchführung von Kontrollmessung ein Vergleich mit den Messergebnissen aus den in der KVA fest installierten, kontinuierlich arbeitenden Messgeräten vorgenommen. Bei 11 KVA wurden, je nach Messparameter, Abweichungen zwischen 15 und über 100 % festgestellt (siehe auch Anhang A).

Massnahmen zur Verbesserung und Sicherung der Qualität von kontinuierlich arbeitenden Messsystemen in KVA sind vordringlich.

Damit auch die Emissionsgehalte und -Frachten aus den Sonderzuständen einheitlich erfasst werden können, sind an den Messsystemen verschiedene Anpassungen bei den Messparametern (Volumenstrom u.a.) und der Programmierung vorzunehmen. Als wichtige Grundlage dazu dient die noch zu treffende Festlegung der für die Sonderzustände massgebenden Betriebsparameter.

6.2 Standardisierung der Berichterstattung

Es liegen nur Jahresberichte von knapp 2/3 der KVA vor. Davon ist lediglich die Hälfte für eine Beurteilung nach Art. 15 LRV geeignet. Weiter fällt auf, dass - neben der in manchen Fällen unbefriedigenden Qualität der Daten (siehe oben) - die Jahresberichte bezüglich Umfang und Darstellung sehr uneinheitlich abgefasst sind (siehe auch Anhang A).

Wir empfehlen deshalb die Ausarbeitung eines Berichtstandards, welcher in einer einheitlichen Form den Anforderungen der LRV und weiteren Bedürfnissen von Betreibern und Behörden gerecht wird.

Ingesamt empfehlen wir die Erstellung eines an die KVA- Betreiber gerichteten Hilfsmittels mit entsprechenden Musterberichten sowie Checklisten für die Qualitätssicherung der Systeme zur kontinuierlichen Messung und Registrierung der Emissionen. Eine Verbesserung der Qualität der Emissionsdaten liegt im Interesse sowohl von Betreibern und Behörden als auch der Öffentlichkeit.

TBF + Partner AG
Planer und Ingenieure

Sachbearbeiter: Dr. Rudolf Müller
Frau Natascia Morenzoni

Zürich, 22. August 2005
14000/Mü/rm

ANHANG

- A Standardisierung der Berichterstattung**
- B Herleitung spezifischer Abgasvolumenstrom**
- C Literaturrecherche (Zusammenfassung)**

A Standardisierung der Berichterstattung

1. Aufgabe

Die Betreiber von Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) sind gemäss der Luftreinhalteverordnung (LRV) verpflichtet, den dafür zuständigen Behörden - in der Regel die kantonalen Fachstellen - jährlich in einem Bericht (Jahresbericht) die Emissionen ihrer Anlage so zu dokumentieren, dass eine Beurteilung nach Art. 15 LRV vorgenommen werden kann.

Im Rahmen des vom Buwal an die TBF + Partner AG erteilten Mandats zur Bearbeitung des Projekts LEA (Luftemissionen aus der Abfallverbrennung) sind die beim Buwal eingegangenen Jahresberichte zu bewerten und ein entsprechender Vorschlag für eine standardisierte Berichterstattung der KVA-Betreiber auszuarbeiten.

Ziel der Standardisierung ist eine einheitliche Darstellung so, dass die Beurteilung nach LRV, ein Überblick über das Emissionsgeschehen, der Vergleich der Daten aus verschiedenen KVA sowie gegebenenfalls eine weitergehende Auswertung rasch und auf einfache Art möglich sind. Ein Vorschlag zur Standardisierung wird auch von den zuständigen Behörden begrüsst.

2. Ausgangslage

Gemäss Ziff. 716 Anhang 2 LRV sind KVA mit Einrichtungen zur kontinuierlichen Messung und Aufzeichnung der Emissionen oder einer geeigneten Betriebsgrösse wie folgt auszurüsten:

- a) die Temperatur der Abgase im Bereich der Ausbrandzone sowie im Kamin;
- b) der Sauerstoffgehalt der Abgase nach dem Austritt aus der Ausbrandzone;
- c) der Kohlenmonoxidgehalt der Abgase.

Der Betrieb der Abgasreinigungsanlage muss durch Messung einer Emissionsgrösse oder einer geeigneten Betriebsgrösse, wie Abgastemperatur, Druckabfall oder Wasserdurchsatz des Rauchgaswäschers, kontinuierlich überwacht werden.

Die Beurteilung erfolgt nach Art. 15 LRV:

Bei kontinuierlicher Messung der Emissionen gelten die Emissionsgrenzwerte als eingehalten, wenn innerhalb des Kalenderjahres:

- a) keiner der Tagesmittelwerte den Emissionsgrenzwert überschreitet;
- b) 97 Prozent aller Stundenmittelwerte das 1,2fache des Grenzwertes nicht überschreiten und
- c) keiner der Stundenmittelwerte das Zweifache des Grenzwertes überschreitet.

Die Emissionen während der An- und Abfahrzeiten der Anlage werden von der Behörde unter Berücksichtigung der besonderen Umstände beurteilt.

Im Rahmen des Projekts LEA wurden die zuständigen Behörden gebeten, dem Buwal die vorhandenen Jahresberichte zur Verfügung zu stellen.

3. Beurteilung der vorliegenden Jahresberichte

Von den im Jahr 2003 insgesamt betriebenen 28 KVA (ohne die KVA Thun, welche sich ab Herbst 2003 in der Phase der Warminbetriebnahme befand) liegen 18 Jahresberichte vor.

a) Formales

	<i>Anzahl</i>
Total vorliegende Jahresberichte	18
davon mit einer schlüssigen Beurteilung der Emissionen nach Art. 15 LRV	9
davon mit zusätzlichen Angaben über Emissionsfrachten	6
davon im Rahmen einer umfassenderen Umwelt-Berichterstattung	4

b) Datenqualität

Aus verschiedenen Berichten über Kontrollmessungen geht hervor, dass die Ergebnisse von kontinuierlichen Messungen (Jahresberichte) relativ häufig mit Fehlern behaftet sind:

Bei 12 KVA wurde gleichzeitig mit der Kontrollmessung ein Vergleich mit den Messergebnissen aus den in der KVA fest installierten, kontinuierlich arbeitenden Messgeräten vorgenommen. Nur bei einer KVA fielen diese Vergleichsmessungen zufrieden stellend aus.

Bei 11 KVA wurden die nachstehend aufgeführten sowohl positiven als auch negativen prozentualen Abweichungen bezogen auf das Ergebnis der Kontrollmessung festgestellt. Dabei handelt es sich um Mittelwerte über mehrere Stunden.

<i>Messgrösse</i>	<i>Anzahl KVA mit Abweichungen von \pm</i>		
	<i>15 - 25 %</i>	<i>25 - 100 %</i>	<i>grösser 100 %</i>
Volumenstrom	3	1	
Sauerstoff		1	
Kohlenmonoxid		2	
Stickstoffdioxid	6	1	
Schwefeldioxid			3

Bei einer ausserhalb des Projekts LEA durchgeführten Überprüfung der Funktion des Auswerterechners (Emissionsrechners) bei einer KVA wurde festgestellt, dass

- Grenzwerte falsch eingegeben sind sowie
- Verknüpfungen von Gehalt und Abgasvolumenstrom (zur Frachtberechnung) mit ungleichem Bezug vorgenommen werden.

Obwohl solche Überprüfungen nicht Gegenstand des Projekts LEA waren, besteht der Verdacht, dass auch bei weiteren KVA die Emissionsrechner fehlerhaft funktionieren.

Abgesehen von den oben beschriebenen Sachverhalten fehlen in den meisten Jahresberichten Angaben über die Qualität der Messergebnisse bzw. zu Massnahmen zur Qualitätssicherung. Die Ausnahme bilden zwei Jahresberichte: Dem einen sind Kalibrierungsprotokolle beigelegt, im anderen wird die fehlende Temperaturkompensation beim Abgasvolumen korrigiert.

c) Zusammenfassende Beurteilung

Es liegen nur Jahresberichte von knapp 2/3 der KVA vor. Davon ist nur die Hälfte für eine Beurteilung nach Art. 15 LRV geeignet.

Es fällt auf, dass - neben der uneinheitlichen Gestaltung der Jahresberichte - die Qualität der für die Beurteilung der Emissionen massgebenden Messdaten in manchen Fällen fragwürdig ist.

Wir kommen zum Schluss, dass - zusätzlich zu der im nachfolgenden Kap. 4 beschriebenen Standardisierung der Berichterstattung - Massnahmen zur Qualitätssicherung in den Bereichen der Emissionsmesstechnik und der Verarbeitung der Messdaten im Emissionsrechner unerlässlich sind.

Wünschenswert wäre zudem eine Aktualisierung der Ziff. 716 Anhang 2 LRV hinsichtlich der bei der kontinuierlichen Messung einzusetzenden Messgeräte. Das Spektrum der Messgeräte ist gemäss dem heutigen Stand der Messtechnik um einige typengeprüfte Geräte zu erweitern, so u.a. für die Komponenten Stickoxide, Schwefeldioxid und VOC.

4. Vorschläge zur Standardisierung der Berichterstattung

4.1 Grundvariante

In der *Grundvariante* sind die für die Beurteilung der Emissionen nach Art. 15 LRV minimal erforderlichen Inhalte des Jahresberichts einschliesslich der Massnahmen zur Qualitätssicherung beschrieben. Aufgrund der Tatsache, dass die meisten KVA auch für die kontinuierliche Messung des Abgasvolumenstroms eingerichtet sind, können darüber hinaus E-Frachten und -Faktoren bestimmt werden.

	<i>Beschreibung</i>	<i>Bemerkungen</i>
Anlage	<ul style="list-style-type: none"> – Betreiber – relevante Zertifizierungen – Verantwortliche Personen 	
Emissionsrelevante Betriebsdaten	<p>verbrannte Abfallmenge</p> <p>Anzahl Jahresbetriebsstunden</p>	<p>aufgeschlüsselt nach Abfallkategorien</p> <p>aufgeschlüsselt nach Normalbetrieb und den Sonderzuständen (An- und Abfahrbetrieb, Verwendung von Umfahrlösungen)</p>
Kont. E-Messung	Messsystem	Hauptmerkmale
Qualitätssicherung kont. E-Messung	Massnahmen	<ul style="list-style-type: none"> – generelle – spezifische während der Berichtsperiode
Messergebnisse kont. E-Messung	<p>Gehalte im Normalbetrieb</p> <p>Gehalte bei Sonderzuständen</p> <p>E-Frachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – im Normalbetrieb – aus Sonderzuständen 	<ul style="list-style-type: none"> – aufbereitet für die Beurteilung nach Art. 15 LRV – Jahresmittel – aufgeschlüsselte Jahresmittel <p>ermöglicht die Berechnung der entsprechenden E-Faktoren</p>
Letzte Kontrollmessung	Gehalte im Normalbetrieb (Schadstoffe nach LRV + Dioxine/Furane)	<ul style="list-style-type: none"> – Tagesmittel – E-Faktoren

4.2 Erweiterte Grundvariante

Der Jahresbericht nach der *erweiterten Grundvariante* basiert auf der Grundvariante, versehen mit zusätzlichen Angaben zur Entsorgung und Verwertung von Rückständen bzw. der Energienutzung im Sinn von Input / Output Stoff-, bzw. Energiebilanzen.

5. Bewertung der Standardisierungsvorschläge

5.1 Grundvariante

Mit dem im Kap. 4.1 beschriebenen, als "*Grundvariante*" bezeichneten Standardisierungsvorschlag für die Jahresberichterstattung wird sichergestellt, dass in erster Linie die Anforderungen der LRV eingehalten werden und die entsprechende Beurteilung vorgenommen werden kann. Darüber hinaus wird die Möglichkeit geschaffen, E-Faktoren zu bestimmen und deren Verlauf über längere Perioden zu beobachten.

Die praktische Umsetzung der "Grundvariante" setzt voraus, dass

- den KVA-Betreibern ein Muster für die Jahresberichterstattung einschliesslich einer einheitlichen Definition der für die Sonderzustände massgebenden Betriebsparameter sowie ein Merkblatt bzw. eine Checkliste für die Qualitätssicherung der Systeme zur kontinuierlichen Messung und Registrierung der Emissionen zur Verfügung steht und
- die KVA-Betreiber ihre Messsysteme zur kontinuierlichen Messung und Registrierung der Emissionen so anpassen, dass einerseits auch die Emissionsgehalte aus den Sonderzuständen erfasst werden können und andererseits - dort wo dies noch nicht der Fall ist - eine Volumenstrommessung eingerichtet wird.

Als erster Schritt dazu wäre die Ausarbeitung eines entsprechenden Merkblatt-Entwurfs des Buwal an die betroffenen externen Stellen (zuständige Behörden, VBSA).

5.2 Erweiterte Grundvariante

Diese stellt eine Weiterentwicklung der "Grundvariante" in Richtung eines Umweltberichts dar.

Wird diese Art der Berichterstattung bevorzugt, so ergibt sich aus dem Umstand, dass

- a) bei einigen KVA - so beispielsweise in den Kantonen Zürich und Luzern - bereits eine Art von Umweltberichterstattung eingeführt ist und
 - b) einzelne KVA bereit über eine Umweltzertifizierung verfügen,
- ein Koordinationsbedarf mit den betroffenen Stellen (Bundesämter, zuständige Behörden, VBSA) zur Vermeidung von Doppelspurigkeiten.

Nach unserer Einschätzung wäre eine Umsetzung der "Grundvariante" rascher und einfacher zu vollziehen.

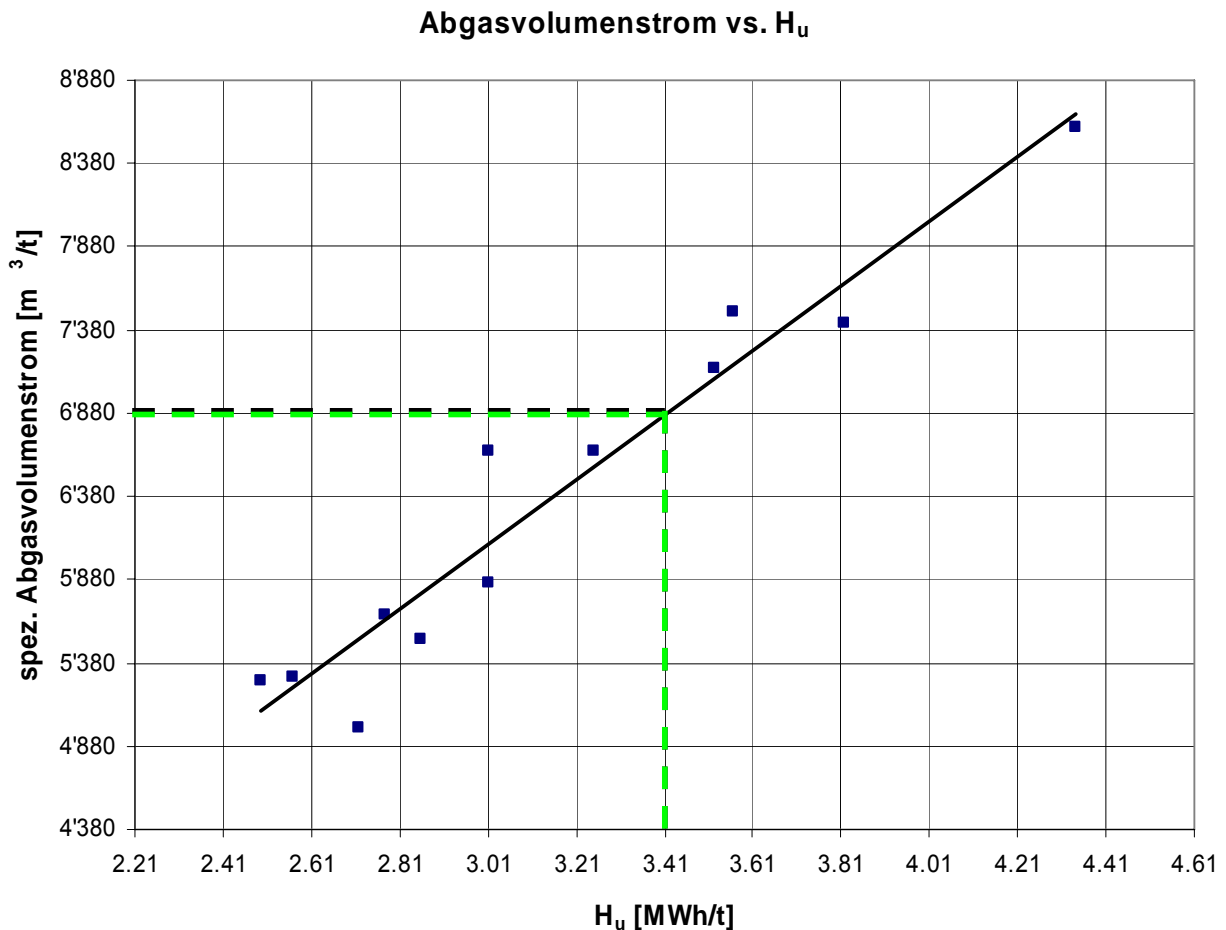
TBF + Partner AG
Planer und Ingenieure

B Spezifischer Abgasvolumenstrom

Aufgabe

Anhand einer Serie von Messdaten (Abgasvolumenstrom je Tonne Kehricht sowie Heizwert des Kehrichts) soll der spezifische Abgasvolumenstrom (Norm, trocken, bezogen auf 11% O₂-Gehalt) bei einem Heizwert H_u 3.41 MWh/t (= Mittelwert für 2003) ermittelt werden. Die Daten stammen aus der KVA Monthey (1997), Linthgebiet (2003) und Trimmis(2001).

Ergebnis



C Literaturrecherche (Zusammenfassung)

Ziel

Dabei geht es um die Sichtung neuerer Untersuchungen (ca. ab 1998) über organische Spurenstoffe (PCDD/F, PCB, PAK, etc.) und Schwermetalle (As, Cr, Cu, Ni, Se) im Abgas von Abfallverbrennungsanlagen. Von Interesse sind dabei hauptsächlich Emissionsfaktoren bei verschiedenen Betriebszuständen sowie Gehalte im Rohgas.

Ergebnisse

a) Organische Spurenstoffe

Von den mit modernen Abgasreinigungssystemen, insbesondere mit Denox- und Dediox-Katalysatoren ausgerüsteten KVA, werden im Normalbetrieb PCDD/F-Reingas-Gehalte von max. 0.1 ng/m^3 ohne weiteres eingehalten. Typische Werte für die entsprechenden Emissionsfaktoren liegen zwischen 0.1 und $0.8 \text{ } \mu\text{g/t}$, typische Rohgasgehalte, je nach Konfiguration der Anlage und Lage des Messorts, in einer Bandbreite zwischen weniger als 1 bis ca. 7 ng/m^3 . Diese Sachverhalte gelten auch für Schweizer KVA.

Vereinzelte Untersuchungen der PCDD/F-Reingas-Gehalte während der Anfahrphase zeigen eine grosse Streuung. Die Werte liegen in einer Bandbreite etwa zwischen weniger als 0.05 und bis ca. 80 ng/m^3 . Es besteht der Verdacht, dass die Anfahrphase ein relevanter Beitrag zum Emissionsfaktor darstellt.

Übersichtsarbeiten über Vorkommen und Bewertung von organischen Spurenstoffen im Abgas wurden keine gefunden. Einzelne Arbeiten erwähnen u.a. PCB, polychlorierte bzw. polyhalogenierte Aromaten sowie PAK.

b) Schwermetalle

Emissions-Messdaten der speziell interessierenden Metalle Kupfer, Chrom, Arsen, Selen und Nickel finden sich hauptsächlich in den Untersuchungsberichten deutscher und österreichischer Verbrennungsanlagen. Im Normalbetrieb weist das Reingas von jedem dieser Stoffe häufig eine Konzentration um ca. 0.001 mg/m^3 auf. Dies entspricht einen gesamten Emissionsfaktor von weniger als 0.05 g/t Abfall.

Dieselben deutschen und österreichischen Emissionsmessungen zeigen, dass im Normalbetrieb die Reingas-Gehalte von Quecksilber und Cadmium max. 0.025 bzw. 0.015 mg/m^3 betragen. Die entsprechenden Emissionsfaktoren werden im Durchschnitt kleiner als 0.15 bzw. 0.09 g/t . Werte in diesem Bereich gelten auch für die Schweizer KVA.

TBF + Partner AG
Planer und Ingenieure