

TEXTE

38/2016

POP- und Hg-Emissionen aus abfallwirtschaftlichen Anlagen

Teilvorhaben zum Globalvorhaben „Überprüfung des
Standes der Technik der Emissionen prioritärer
Schadstoffe für einzelne Industriebranchen
(Kleinf Feuerungsanlagen und abfallwirtschaftliche
Anlagen)“

TEXTE 38/2016

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3712 42 3131
UBA-FB 002333

POP- und Hg-Emissionen aus abfallwirtschaftlichen Anlagen

Teilvorhaben zum Globalvorhaben „Überprüfung
des Standes der Technik der Emissionen prioritärer
Schadstoffe für einzelne Industriebranchen
(Kleinfeuerungsanlagen und abfallwirtschaftliche
Anlagen)“

von

Frank Stöcklein
Müller-BBM GmbH, Nürnberg

Horst Gass
Müller BBM GmbH, Berlin

Norbert Suritsch
Müller-BBM GmbH, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de
 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Müller-BBM GmbH
Robert-Koch-Str. 13
82152 Planegg

Abschlussdatum:

Januar 2016

Redaktion:

Fachgebiet III 2.4 Abfalltechnik, Abfalltechniktransfer
Dr. Julia Vogel

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pop-hg-emissionen-aus-abfallwirtschaftlichen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2016

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3712 42 3131 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Zur Erfüllung von Berichtspflichten zum Stockholmer Übereinkommen zur Begrenzung persistenter organischer Schadstoffe (POPs) und um zur EU-POP-Verordnung beizutragen, sollen die Emissionen an POPs (z.B. PCDD/F, PCB, PAK, u. a.) aus Anlagen der Abfallwirtschaft und Krematorien ermittelt werden. Die Erhebung der Emissionsdaten wird in diesem Rahmen sowohl auf Basis von Literaturrecherchen als auch durch Emissionsmessungen an Praxisanlagen durchgeführt. Die Untersuchungen sollen jeweils an mindestens vier Abfallverbrennungsanlagen, Klärschlammverbrennungsanlagen, Altholzverbrennungsanlagen und Krematorien mit repräsentativen Messungen erfolgen.

Bei der Auswahl der Anlagen wurde darauf geachtet, dass die Anlagen mit unterschiedlicher Abgasreinigung arbeiten, sodass die Ergebnisse möglichst repräsentativ für den gesamten Anlagenpark in Deutschland sind.

Abstract

In order to meet the requirements of the reporting obligation according to the Stockholm Convention for reducing persistent organic pollutants (POPs) and in order to support the POPs Regulation, all emissions of POPs (e. g. PCDD/F, PCB, PAH etc.) from plants of the waste management industry and crematories shall be determined. The collection of the emission data will be based on literature research and on emission measurements carried out at plants of clients. The investigations shall be carried out for at least four waste incineration plants, four sewage sludge incineration plants, old timber incineration plants, and crematories with representative measurements.

In order to make sure that the results are as representative as possible for the entire plants and installations in Germany, one important criterion was to select plants with different waste gas purification techniques.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	14
Zusammenfassung	15
Summary	22
1 Einleitung und Aufgabenstellung.....	29
1.1 Einführung in die Thematik.....	29
1.2 Auftraggeber.....	30
1.3 Aufgabenstellung	30
2 Literaturrecherche und Werbung von jeweils vier Anlagen der unterschiedlichen Kategorien.....	31
2.1 Werbung von jeweils vier Anlagen der unterschiedlichen Kategorie.....	31
2.1.1 Abfallverbrennungsanlagen	31
2.1.2 Klärschlammverbrennungsanlagen.....	32
2.1.3 Altholzverbrennungsanlagen.....	32
2.1.4 Krematorien	33
2.2 Literaturrecherche	34
2.2.1 Ergebnisse von Abfallverbrennungsanlagen aus der Literaturrecherche.....	34
2.2.2 Ergebnisse von Klärschlammverbrennungsanlagen aus Literaturrecherchen.....	37
2.2.3 Weitere Ergebnisse von Altholzverbrennungsanlagen aus Literaturrecherchen.....	38
2.2.4 Weitere Ergebnisse von Krematorien aus Literaturrecherchen	39
3 Eingesetzte Messverfahren und Darstellung der Einzelergebnisse	40
3.1 Polychlorierte Dibenzodioxine und furane (PCDD/PCDF), dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB), Polychlorierte Benzole (PCBz), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Naphthaline (PCN)	40
3.1.1 Messverfahren/VDI-Richtlinien	40
3.1.2 Messobjekte	40
3.1.3 Messplatzaufbau.....	40
3.1.4 Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/PCDF), dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB)	41
3.1.4.1 Analytische Bestimmung	41
3.1.4.2 Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung	42
3.1.5 Pentachlorbenzol (PentaCBz) und Hexachlorbenzol (HexaCBz).....	43

3.1.5.1	Analytische Bestimmung	43
3.1.5.2	Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung	43
3.1.6	Polychlorierte Naphthaline (PCN)	43
3.1.6.1	Analytische Bestimmung	43
3.1.6.2	Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung	43
3.1.7	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK nach EPA) (incl. Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k) fluoranthren, Indeno(1,2,3-cd)pyren)	44
3.1.7.1	Analytische Bestimmung	44
3.1.7.2	Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung	44
3.1.8	Polyfluorooctansulfonsäure (PFOS)	45
3.1.8.1	Messverfahren/VDI-Richtlinien	45
3.1.8.2	Messobjekte	45
3.1.8.3	Messplatzaufbau	45
3.1.8.4	Analytische Bestimmung	45
3.1.8.5	Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung	46
3.1.9	Gasförmige organische Stoffe: Aktivkohleproben/ GCMS	46
3.1.9.1	Messverfahren	46
3.1.9.2	Messobjekte	46
3.1.9.3	Messplatzaufbau	46
3.1.9.4	Analytische Bestimmung	47
3.1.9.5	Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung	47
3.1.10	Quecksilber (Hg)	48
3.1.10.1	Messverfahren	48
3.1.10.2	Messplatzaufbau	48
3.1.10.3	Analytische Bestimmung	48
3.1.10.4	Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung	48
4	Betriebsbedingungen, Einzelergebnisse, Messtermine	49
4.1	Messtermine	49
4.2	Betriebsbedingungen und Messergebnisse	49
4.2.1	MVA 1 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	50
4.2.2	MVA 2 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	52
4.2.3	MVA 3 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	54
4.2.4	MVA 4 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	55
4.2.5	KVA 1 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	57

4.2.6	KVA 2 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	59
4.2.7	KVA 3 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	61
4.2.8	KVA 4 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	62
4.2.9	AVA 1 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	64
4.2.10	AVA 2 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	66
4.2.11	AVA 3 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	69
4.2.12	AVA 4 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse	71
4.2.13	Krematorium 1 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse.....	74
4.2.14	Krematorium 2 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse.....	76
4.2.15	Krematorium 3 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse.....	78
4.2.16	Krematorium 4 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse.....	80
5	Anlagenspezifische Aufbereitung der Daten	82
5.1	Abfallverbrennungsanlagen	82
5.1.1	PCDD/F- und dioxinähnliche PCB-Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen	82
5.1.2	BTX-Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen	83
5.1.3	PentaCBz- und HexaCBz -Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen.....	84
5.1.4	Perfluoroctansulfonat- und polychlorierte Naphthalin-Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen	85
5.1.5	PAK-Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen.....	86
5.2	Klärschlammverbrennungsanlagen.....	88
5.2.1	PCDD/F- und dioxinähnliche PCB-Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen	88
5.2.2	BTX-Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen	89
5.2.3	PentaCBz- und HexaCBz -Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen	90
5.2.4	Perfluoroctansulfonat- und polychlorierte Naphthalin-Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen	91
5.2.5	PAK-Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen	92
5.3	Altholzverbrennungsanlagen.....	94
5.3.1	PCDD/F- und dioxinähnliche PCB-Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen	94
5.3.2	BTX-Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen	95
5.3.3	PentaCBz- und HexaCBz -Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen.....	96
5.3.4	Perfluoroctansulfonat- und polychlorierte Naphthalin-Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen	97
5.3.5	PAK-Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen	98

5.4	Krematorien	100
5.4.1	PCDD/F- und dioxinähnliche PCB-Emissionen aus Krematorien	100
5.4.2	BTX-Emissionen aus Krematorien.....	101
5.4.3	PentaCBz- und HexaCBz -Emissionen aus Krematorien	103
5.4.4	Perfluorooctansulfonat- und polychlorierte Naphthalin-Emissionen aus Krematorien.....	104
5.4.5	PAK-Emissionen aus Krematorien	105
5.4.6	Quecksilber-Emissionen aus Krematorien.....	107
6	Diskussion der Ergebnisse.....	108
6.1	Vergleich der Anlagen.....	108
6.1.1	Vergleich der Abfallverbrennungsanlagen (MVA).....	108
6.1.1.1	Vergleich der Messergebnisse - MVA	108
6.1.1.2	Vergleich von Messergebnissen und Literaturwerten – MVA	108
6.1.2	Vergleich der Ergebnisse der Klärschlammverbrennungsanlagen (KVA)	110
6.1.2.1	Vergleich der Messergebnisse - KVA	110
6.1.2.2	Vergleich von Messergebnissen und Literaturwerten – KVA	110
6.1.3	Vergleich der Ergebnisse der Altholzverbrennungsanlagen (AVA)	111
6.1.3.1	Vergleich der Messergebnisse - AVA	111
6.1.3.2	Vergleich von Messergebnissen und Literaturwerten – AVA	113
6.1.4	Vergleich der Ergebnisse der Krematorien	113
6.1.4.1	Vergleich der Messergebnisse - Krematorien	113
6.1.4.2	Vergleich von Messergebnissen und Literaturwerten – Krematorien	114
6.1.5	Vergleich der untersuchten Anlagentypen	114
6.2	Abschätzung von Emissionsfaktoren.....	115
6.2.1	Emissionsfaktoren für Abfallverbrennungsanlagen	115
6.2.2	Emissionsfaktoren für Klärschlammverbrennungsanlagen.....	116
6.2.3	Emissionsfaktoren für Altholzverbrennungsanlagen.....	117
6.2.4	Emissionsfaktoren für Krematorien	118

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	MVA– PCDD/F-Konzentrationen aus der Literaturrecherche	34
Abbildung 2:	MVA – PentaCBz-Konzentrationen aus der Literaturrecherche	35
Abbildung 3:	MVA – HexaCBz-Konzentrationen aus der Literaturrecherche.....	35
Abbildung 4:	MVA – PAK-Konzentrationen aus der Literaturrecherche.....	36
Abbildung 5:	MVA – BaP-Konzentrationen aus der Literaturrecherche.....	36
Abbildung 6:	KVA– PCDD/F-Konzentrationen aus der Literaturrecherche.....	37
Abbildung 7:	KVA– BaP-Konzentrationen aus der Literaturrecherche	37
Abbildung 8:	AVA– PCDD/F-Konzentrationen aus der Literaturrecherche.....	38
Abbildung 9:	AVA– BaP-Konzentrationen aus der Literaturrecherche	39
Abbildung 10:	Krematorien– PCDD/F-Konzentrationen aus der Literaturrecherche.....	39
Abbildung 11:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB.....	82
Abbildung 12:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB.....	82
Abbildung 13:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylolen	83
Abbildung 14:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylolen	83
Abbildung 15:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz	84
Abbildung 16:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz.....	84
Abbildung 17:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN	85
Abbildung 18:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN	85
Abbildung 19:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PAK	86
Abbildung 20:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK	86
Abbildung 21:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P.....	87
Abbildung 22:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P	87
Abbildung 23:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB.....	88
Abbildung 24:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB.....	88
Abbildung 25:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylolen	89
Abbildung 26:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylolen	89
Abbildung 27:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz	90
Abbildung 28:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz.....	90
Abbildung 29:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN	91
Abbildung 30:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN	91
Abbildung 31:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PAK	92

Abbildung 32:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK	92
Abbildung 33:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P.....	93
Abbildung 34:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P	93
Abbildung 35:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB	94
Abbildung 36:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB	94
Abbildung 37:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylolen	95
Abbildung 38:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylolen	95
Abbildung 39:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz	96
Abbildung 40:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz	96
Abbildung 41:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN	97
Abbildung 42:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN	97
Abbildung 43:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PAK	98
Abbildung 44:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK	98
Abbildung 45:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P.....	99
Abbildung 46:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P	99
Abbildung 47:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB	100
Abbildung 48:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB	100
Abbildung 49:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylolen	101
Abbildung 50:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylolen	102
Abbildung 51:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz	103
Abbildung 52:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz	103
Abbildung 53:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN	104
Abbildung 54:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN	104
Abbildung 55:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PAK	105
Abbildung 56:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK	105
Abbildung 57:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P.....	106
Abbildung 58:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P	106
Abbildung 59:	Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Hg	107
Abbildung 60:	Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Hg	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Auswahl der zu untersuchenden Abfallverbrennungsanlagen	16
Tabelle 2. Ergebnisse der Untersuchungen an den Abfallverbrennungsanlagen.....	16
Tabelle 3. Auswahl der zu untersuchenden Klärschlammverbrennungsanlagen.....	17
Tabelle 4. Ergebnisse der Untersuchungen an den Klärschlammverbrennungsanlagen	18
Tabelle 5. Auswahl der zu untersuchenden Altholzverbrennungsanlagen	19
Tabelle 6. Ergebnisse der Untersuchungen an den Altholzverbrennungsanlagen	19
Tabelle 7. Auswahl der zu untersuchenden Krematorien	20
Tabelle 8. Ergebnisse der Untersuchungen an den Krematorien	21
Table 9. Selection of the investigated waste incineration plants (MVAs)	23
Table 10. Results of the investigations at waste incineration plants	23
Table 11. Selection of the investigated sewage sludge incineration plants (KVAs)	24
Table 12. Results of the investigations at the sewage sludge incineration plants	25
Table 13. Selection of the investigated waste wood incineration plants (AVA)	26
Table 14. Results of the investigated waste wood incineration plants.....	26
Table 15. Selection of the investigated crematories	27
Table 16. Results of the investigations at the crematories	28
Tabelle 17. Auswahl der zu untersuchenden Abfallverbrennungsanlagen	31
Tabelle 18. Auswahl der zu untersuchenden Klärschlammverbrennungsanlagen.....	32
Tabelle 19. Auswahl der zu untersuchenden Altholzverbrennungsanlagen.....	32
Tabelle 20. Auswahl der zu untersuchenden Krematorien	33
Tabelle 21. Messtermine an den ausgewählten Anlagen.....	49
Tabelle 22. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – MVA 1	50
Tabelle 23. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – MVA 1.....	51
Tabelle 24. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – MVA 1	51
Tabelle 25. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – MVA 2	52
Tabelle 26. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – MVA 2.....	53
Tabelle 27. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – MVA 2	53
Tabelle 28. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – MVA 3	54
Tabelle 29. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – MVA 3.....	54
Tabelle 30. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – MVA 3	55
Tabelle 31. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – MVA 4	55
Tabelle 32. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – MVA 4.....	56
Tabelle 33. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – MVA 4	56

Tabelle 34. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – KVA 1	57
Tabelle 35. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – KVA 1	58
Tabelle 36. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – KVA 1	58
Tabelle 37. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – KVA 2	59
Tabelle 38. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – KVA 2	60
Tabelle 39. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – KVA 2	60
Tabelle 40. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – KVA 3	61
Tabelle 41. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – KVA 3	61
Tabelle 42. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – KVA 3	62
Tabelle 43. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – KVA 4	62
Tabelle 44. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – KVA 4	63
Tabelle 45. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – KVA 4	63
Tabelle 46. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – AVA 1	64
Tabelle 47. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – AVA 1	65
Tabelle 48. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – AVA 1	65
Tabelle 49. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – AVA 2	66
Tabelle 50. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – AVA 2	66
Tabelle 51. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – AVA 2	67
Tabelle 52. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – AVA 3	69
Tabelle 53. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – AVA 3	70
Tabelle 54. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – AVA 3	70
Tabelle 55. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – AVA 4	71
Tabelle 56. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – AVA 4	71
Tabelle 57. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – AVA 4	72
Tabelle 58. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – Linie 1 im Krematorium 1	74
Tabelle 59. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – Linie 2 im Krematorium 1	74
Tabelle 60. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – Krematorium 1	75
Tabelle 61. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – Krematorium 1	75
Tabelle 62. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – Krematorium 2	76
Tabelle 63. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – Krematorium 2	77
Tabelle 64. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – Krematorium 2	77
Tabelle 65. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – Krematorium 3	78
Tabelle 66. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – Krematorium 3	79
Tabelle 67. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – Krematorium 3	79
Tabelle 68. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – Krematorium 4	80

Tabelle 69. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – Krematorium 4	80
Tabelle 70. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – Krematorium 4.....	81
Tabelle 71. Vergleich von PCDD/F-Messergebnissen und PCDD/F-Literaturwerten – MVA.....	108
Tabelle 72. Vergleich von PAK-Messergebnissen und PAK-Literaturwerten – MVA.....	109
Tabelle 73. Vergleich von PentaCBz-Messergebnissen und PentaCBz-Literaturwerten – MVA	109
Tabelle 74. Vergleich von HexaCBz-Messergebnissen und HexaCBz-Literaturwerten – MVA	109
Tabelle 75. Vergleich von PCDD/F-Messergebnissen und PCDD/F-Literaturwerten – KVA.....	110
Tabelle 76. Vergleich von PCDD/F-Messergebnissen und PCDD/F-Literaturwerten – AVA.....	113
Tabelle 77. Vergleich von PCDD/F-Messergebnissen und PCDD/F-Literaturwerten – Krematorien ..	114
Tabelle 78. Emissionsfaktoren – Abfallverbrennungsanlagen	115
Tabelle 79. Emissionsfaktoren – Klärschlammverbrennungsanlagen.....	116
Tabelle 80. Emissionsfaktoren – Altholzverbrennungsanlagen.....	117
Tabelle 81. Emissionsfaktoren – Krematorien	118

Abkürzungsverzeichnis

AVA	Altholzverbrennungsanlage
B	Benzol
BaP	Benzo-(a)-pyren
BbF	Benzo-(b)-fluoranthen
BkF	Benzo-(k)-fluoranthen
BTX	Summe aus Benzol, Toluol und Xylol
di PCB	dioxinähnliche PCB, WHO-PCB (entspr. 17. BImSchV vom 02.05.2013, Anlage 2)
EPA	amerikanische Umweltschutzbehörde (Environmental Protection Agency)
HexaCBz	Hexachlorbenzol
HOK	Herdofenkoks
Hg	Quecksilber
I123P	Indeno-1-2-3-cd-pyren
KVA	Klärschlammverbrennungsanlage
MVA	Abfall- bzw. Müllverbrennungsanlage
ng TEF/m³	Summenkonzentration unter Verwendung der Toxizitätsäquivalenzfaktoren entspr. 17. BImSchV vom 02.05.2013, Anlage 2
PAK Total/ PAK nach EPA	Auswahl von 16 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe nach EPA
PCDD/F	polychlorierte Dibenzodioxine und polychlorierte Dibenzofurane (entspr. 17. BImSchV vom 02.05.2013, Anlage 2)
PCN	polychlorierte Naphthaline
PentaCBz	Pentachlorbenzol
PFOS	Perfluorooctansulfonat
POP	persistente organische Schadstoffe (persistent organic pollutants)
SCR	selektive katalytische Reduktion
SNCR	selektive nicht katalytische Reduktion
Stabw.	Standardabweichung
T	Toluol
TEF	Toxizitätsäquivalenzfaktor
TS	Trockensubstanz
WHO	World Health Organization
X	Xylol

Zusammenfassung

Zur Erfüllung von Berichtspflichten zum Stockholmer Übereinkommen zur Begrenzung persistenter organischer Schadstoffe (POPs) und um zur EU-POP-Verordnung beizutragen, sollen die Emissionen an POPs (z.B. PCDD/F, PCB, PAK, u. a.) aus Anlagen der Abfallwirtschaft und Krematorien ermittelt werden. Die Erhebung der Emissionsdaten wird in diesem Rahmen sowohl auf Basis von Literaturrecherchen als auch durch Emissionsmessungen an Praxisanlagen durchgeführt. Die Untersuchungen sollen jeweils an mindestens vier Abfallverbrennungsanlagen, Klärschlammverbrennungsanlagen, Altholzverbrennungsanlagen und Krematorien mit repräsentativen Messungen erfolgen.

Die Messkampagnen sollen die Erfassung folgender POPs und Schadstoffe beinhalten:

- ▶ polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in Summe (PAK Total = Summe aus 16 PAK nach EPA) sowie einzelne separat ausgewiesene PAK (Benzo-(a)-pyren = BaP, Benzo-(b)-fluoranthren = BbF, Benzo-(k)-fluoranthren = BkF, Indeno-1-2-3-cd-pyren = I123P)
- ▶ dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB nach WHO)
- ▶ Dioxine/Furane (PCDD/F)
- ▶ Hexachlorbenzol (HexaCBz)
- ▶ Pentachlorbenzol (PentaCBz)
- ▶ Benzol (B)
- ▶ Toluol (T)
- ▶ Xylol (X)
- ▶ Perfluorooctansulfonat (PFOS)
- ▶ Polychlorierte Naphthaline (PCN)
- ▶ Quecksilber (Hg) bei Krematorien

Bei der Auswahl der Anlagen wurde darauf geachtet, dass die Anlagen mit unterschiedlicher Abgasreinigung arbeiten, sodass die Ergebnisse möglichst repräsentativ für den gesamten Anlagenpark in Deutschland sind.

Im Folgenden werden die ausgewählten Anlagengruppen (Abfallverbrennungsanlagen, Klärschlammverbrennungsanlagen, Altholzverbrennungsanlagen und Krematorien) dargestellt und den Ergebnissen der Emissionsmessungen gegenübergestellt.

Die Tabellen fassen die Ergebnisse der Einzelmessungen für jede Anlagenart zusammen. Dargestellt werden jeweils Minimum, Maximum, Mittelwert und Median der durchgeführten Einzelmessungen. Sofern Analysenergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurden diese mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt, um eine konservative Mittelwertbildung der Ergebnisse zu ermöglichen. Die dargestellten Werte basieren auf Einzelergebnissen bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa) und einen Bezugssauerstoffgehalt von 11 Vol. %.

Abfallverbrennungsanlagen

Die nachfolgenden beiden Tabellen fassen die Ergebnisse der Untersuchungen an den vier Abfallverbrennungsanlagen zusammen.

Tabelle 1. Auswahl der zu untersuchenden Abfallverbrennungsanlagen

	MVA 1	MVA2	MVA3	MVA4 (EBS)
Feuerung	Rückschubrost	Vorschubrost mit Mittelstrombrennkammer	Vorschubrost	Vorschubrost
Mülldurchsatz	35 t/h	11,35 t/h	6,8t/h	19,5 t/h
Dampfleistung	92,5 t/h	36,0 t/h	24 t/h	67,9 t/h
Kessel-Baujahr	1990	1998	1985	2008
Abgasreinigung	Sprühtrockner	Gewebefilter	SNCR-Anlage	SNCR-Anlage
	Elektrofilter	Wärmetauscher	Sprühabsorber	Sprühabsorber
	Niederdruck-Venturiwäscher	saurer Wäscher alkalischer Wäscher	Gewebefilter	Trockensorption (Kalk+HOK)
	Gegenstromwäscher mit Füllkörperpackung	Dioxin-/Schwermetall-Filter (Aktivkohleraktor)	SCR-DeNOx mit Zusatzbrenner	Gewebefilter
	Aerosolabscheider	SCR-DeNOx		
	Wärmetauscher			
	SCR-DeNOx			
	Flugstrom-Adsorp.			
	Gewebefilter			

Tabelle 2. Ergebnisse der Untersuchungen an den Abfallverbrennungsanlagen

Komponente		Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
Benzol	mg /m ³	0,010	0,030	0,017	0,018
Xylole	mg /m ³	0,010	0,020	0,015	0,015
Toluol	mg /m ³	0,010	0,070	0,028	0,020
HexaCBz	µg /m ³	0,001	0,042	0,010	0,004
PentaCBz	µg /m ³	0,001	0,192	0,048	0,018
PFOS	µg /m ³	0,004	0,034	0,011	0,009
PCN	µg /m ³	0,017	0,024	0,020	0,019
BbF	µg /m ³	0,0010	0,0050	0,0023	0,0015
BkF	µg /m ³	0,0010	0,0020	0,0014	0,0015
BaP	µg /m ³	0,0005	0,0020	0,0012	0,0015
I123P	µg /m ³	0,0005	0,0020	0,0012	0,0015
PAK Total	µg /m ³	0,087	0,363	0,168	0,117
PCDD/F	ng TEF/m ³	0,0005	0,0130	0,0062	0,0069
PCB nach WHO	ng TEF/m ³	0,0002	0,0010	0,0005	0,0002

Zusammenfassend lassen sich folgende Feststellungen treffen:

- ▶ Im Abgas keiner Müllerverbrennungsanlage wurden POP-Konzentrationen ermittelt, die die Größenordnung von allgemeinverbindlichen deutschen Emissionsgrenzwerten erreichen oder überschreiten (z.B.: TA Luft oder 13./17. BImSchV).
- ▶ Viele Messergebnisse wurden unter Berücksichtigung von 50 % der Bestimmungsgrenze ermittelt, da trotz Anreicherung der Schadstoffkomponenten über Probenahmezeiten von mindestens 0,5 Stunden (BTX, PFOS) bis 6 Stunden (alle anderen POPs), die Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze lagen.
- ▶ Bei der MVA 3 lagen bis auf eine Einzelmessung (PAK Total) alle Einzelergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenzen.
- ▶ Bei den anderen MVA wurden folgende Komponenten oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen:
Benzol (eine Einzelmessung),
Toluol (zwei Anlagen, fünf Einzelmessungen),
PentaCBz und HexaCBz (an drei Anlagen),
PAK Total (Einzelverbindungen an drei Anlagen),
PCDD/F (Einzelverbindungen an drei Anlagen),
PCB nach WHO (Einzelverbindungen an einer Anlage)
Nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen die Messergebnisse für
Xylol, PFOS, PCN, BbF, BkF, BaP, I123P.

Klärschlammverbrennungsanlagen

Die nachfolgenden beiden Tabellen fassen die Ergebnisse der Untersuchungen an den vier Klärschlamm-verbrennungsanlagen zusammen.

Tabelle 3. Auswahl der zu untersuchenden Klärschlammverbrennungsanlagen

	KVA 1	KVA2	KVA3	KVA4
Feuerung	Wirbelschicht	Vorschubrost	Wirbelschicht	Wirbelschicht
Durchsatz (TR)	3,0 (3,3) t/h	2 x 3,6 t/h	3,2 ... 3,7 t/h	keine Angaben
FWL	6,5 MW	2 x 6 MW	keine Angabe	10,1 MW
Leistung	8 t/h Dampf	2 x 4 MW _{th} Thermalöl	ca. 8,5 t/h Dampf	13,5 t/h Dampf
Baujahr	1996	2007	1988	1991/1992
Abgasreinigung	SNCR	SNCR	Aktivkohledosierung	Elektrofilter 1
	Elektrofilter	2-fach-Zyklon	Elektrofilter	Sprühtrockner
	Trockensorption	Sprühtrockner	Sprühturm	Elektrofilter 2
	Gewebefilter	Trockensorption	Tropfenabscheider	Verdampfungskühler
	Zweikreiswäscher	Gewebefilter		Wäscher I (sauer)
	Nasselektrofilter	Venturiwäscher		Wäscher II (alkalisch)
	Abgaskühler	Waschturm mit Füllkörpern		

Tabelle 4. Ergebnisse der Untersuchungen an den Klärschlammverbrennungsanlagen

Komponente		Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
Benzol	mg / m ³	0,010	0,030	0,016	0,015
Xylole	mg / m ³	0,010	0,030	0,016	0,015
Toluol	mg / m ³	0,010	0,030	0,016	0,015
HexaCBz	µg / m ³	0,0005	0,0015	0,0009	0,0010
PentaCBz	µg / m ³	0,0005	0,0015	0,0009	0,0010
PFOS	µg / m ³	0,0165	0,0230	0,0200	0,0203
PCN	µg / m ³	0,0120	0,0355	0,0237	0,0258
BbF	µg / m ³	0,0010	0,0025	0,0016	0,0015
BkF	µg / m ³	0,0010	0,0025	0,0016	0,0015
BaP	µg / m ³	0,0010	0,0025	0,0016	0,0015
I123P	µg / m ³	0,0010	0,0025	0,0019	0,0020
PAK Total	µg / m ³	0,177	0,637	0,302	0,233
PCDD/F	ng TEF/m ³	0,0003	0,0010	0,0007	0,0008
PCB nach WHO	ng TEF/m ³	0,0001	0,0003	0,0002	0,0001

Zusammenfassend lassen sich folgende Feststellungen treffen:

- ▶ Im Abgas keiner Klärschlammverbrennungsanlage wurden POP-Konzentrationen ermittelt, die die Größenordnung von allgemeinverbindlichen deutschen Emissionsgrenzwerten erreichen oder überschreiten (z.B.: TA Luft oder 13./17. BImSchV).
- ▶ Viele Messergebnisse wurden unter Berücksichtigung von 50 % der Bestimmungsgrenze ermittelt, da trotz Anreicherung der Schadstoffkomponenten über Probenahmezeiten von mindestens 0,5 Stunden (BTX, PFOS) bis 6 Stunden (alle anderen POPs), die Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze lagen.
- ▶ Bei den KVA zeigt sich innerhalb der Messreihen und auch über alle Messreihen hinweg nur eine sehr geringe Streuung der Messergebnisse, die maßgeblich durch die variierenden Probenahmeholumina beeinflusst wird.
- ▶ Es wurden folgende Komponenten oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen:
PCN (an einer Anlage, alle Einzelmessungen)
PAK Total (Einzelverbindungen an allen Anlagen)
PCDD/F (an drei Anlagen, Einzelverbindungen in sechs Einzelmessungen)
- ▶ Nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen die Messergebnisse für Benzol, Toluol, Xylol, PentaCBz, HexaCBz, PFOS, BbF, BkF, BaP, I123P, PCB nach WHO.

Altholzverbrennungsanlagen

Die nachfolgenden beiden Tabellen fassen die Ergebnisse der Untersuchungen an den vier Altholzverbrennungsanlagen zusammen.

Tabelle 5. Auswahl der zu untersuchenden Altholzverbrennungsanlagen

	AVA 1	AVA2	AVA3	AVA4
Feuerung	Wirbelschicht	Rostkessel 2+3	Vorschubrost	Rostfeuerung
Durchsatz	18,2 t/h	2x11,7 t/h	5,3 t/h	ca. 5,3 t/h
Holzart	AI bis AIII	AI bis AIV	AI bis A III	AI bis A III
Dampfleistung	49 t/h	2 x 50 t/h	23 t/h Dampf	23,5 t/h
Baujahr	1998/2005	2002	2002	2005
Abgasreinigung	Trockensorption	SNCR-Anlage	SNCR-Anlage	SNCR-Anlage
	Gewebefilter	Zyklonanlage	Zyklonanlage	Zyklonanlage
	Gewebefilter (Rezigas)	Quenchturm	Trockensorption	Trockensorption
		Trockensorption	Gewebefilter	Gewebefilter
		Gewebefilter	Abgas-Rezirkulation	
		Abgas-Rezirkulation		

Tabelle 6. Ergebnisse der Untersuchungen an den Altholzverbrennungsanlagen

Komponente		Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
Benzol	mg / m ³	0,005	0,015	0,009	0,010
Xylole	mg / m ³	0,005	0,015	0,009	0,010
Toluol	mg / m ³	0,005	0,024	0,010	0,010
HexaCBz	µg / m ³	0,0005	0,0020	0,0010	0,0008
PentaCBz	µg / m ³	0,0005	0,0030	0,0013	0,0008
PFOS	µg / m ³	0,0110	0,0205	0,0156	0,0163
PCN	µg / m ³	0,0090	0,0159	0,0126	0,0128
BbF	µg / m ³	0,0005	0,0034	0,0013	0,0010
BkF	µg / m ³	0,0005	0,0012	0,0009	0,0010
BaP	µg / m ³	0,0005	0,0012	0,0009	0,0010
I123P	µg / m ³	0,0005	0,0012	0,0009	0,0010
PAK Total	µg / m ³	0,073	0,269	0,142	0,130
PCDD/F	ng TEF/m ³	0,0004	0,0110	0,0044	0,0050
PCB nach WHO	ng TEF/m ³	0,00004	0,0012	0,0003	0,0001

Zusammenfassend lassen sich folgende Feststellungen treffen:

- ▶ Im Abgas keiner Altholzverbrennungsanlage wurden POP-Konzentrationen ermittelt, die die Größenordnung von allgemeinverbindlichen deutschen Emissionsgrenzwerten erreichen oder überschreiten (z.B.: TA Luft oder 13./17. BImSchV).
- ▶ Viele Messergebnisse wurden unter Berücksichtigung von 50 % der Bestimmungsgrenze ermittelt, da trotz Anreicherung der Schadstoffkomponenten über Probenahmezeiten von mindestens 0,5 Stunden (BTX, PFOS) bis 6 Stunden (alle anderen POPs), die Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze lagen.
- ▶ Bei den AVA zeigt sich innerhalb der Messreihen und auch über alle Messreihen hinweg nur eine sehr geringe Streuung der Messergebnisse, die maßgeblich durch die variierenden Probenahmevolumina beeinflusst wird.
- ▶ Es wurden folgende Komponenten oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen:
Toluol (eine Anlage, eine Einzelmessung)
PentaCBz und HexaCBz (an zwei Anlagen)
BbF (an zwei Anlagen, jeweils eine Einzelmessung)
PAK Total (Einzelverbindungen an allen Anlagen)
PCDD/F (Einzelverbindungen an allen Anlagen)
PCB nach WHO (an zwei Anlagen)
- ▶ Nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen die Messergebnisse für Benzol, Xylol, PFOS, PCN, BkF, BaP, I123P.

Krematorien

Die nachfolgenden beiden Tabellen fassen die Ergebnisse der Untersuchungen an den vier Krematorien zusammen.

Tabelle 7. Auswahl der zu untersuchenden Krematorien

	Krematorium 1	Krematorium 2	Krematorium 3	Krematorium 4
Brenner	Hauptbrenner Nachbrenner Linie 1/Linie 2	Hauptbrenner Restebrenner Nachbrenner	Hauptbrenner Nachbrenner	Hauptbrenner Mineralisierungsbrenner Nachbrenner
Baujahr	2003/2007	2010	1999/2004	2009
Abgasreinigung	Wärmetauscher	Wärmetauscher	Wärmetauscher	Zyklon
	Verdampfungskühler	Zyklon	Wärmetauscher	Wärmetauscher
	Kühlluft	kat. Gewebefilter	Teilquenche	kat. Gewebefilter
	Gewebefilter		Gewebefilter	
	TiO ₂ /V ₂ O ₅ Katalysator (L1) Aktivkohleadsorber (L2)		Festbettadsorber	

Tabelle 8. Ergebnisse der Untersuchungen an den Krematorien

Komponente		Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
Benzol	mg /m ³	0,005	0,160	0,051	0,015
Xylol	mg /m ³	0,005	0,060	0,016	0,013
Toluol	mg /m ³	0,005	0,070	0,022	0,013
HexaCBz	µg /m ³	0,0015	0,05	0,0163	0,0150
PentaCBz	µg /m ³	0,0015	0,228	0,0575	0,0490
PFOS	µg /m ³	0,008	0,0435	0,0169	0,0113
PCN	µg /m ³	0,0270	0,1145	0,0565	0,0525
BbF	µg /m ³	0,0010	0,0170	0,0057	0,0040
BkF	µg /m ³	0,0010	0,0045	0,0029	0,0035
BaP	µg /m ³	0,0010	0,0045	0,0029	0,0035
I123P	µg /m ³	0,0010	0,0045	0,0029	0,0035
PAK Total	µg /m ³	0,102	2,994	1,054	0,779
PCDD/F	ng TEF/m ³	0,0010	0,3520	0,0595	0,0050
PCB nach WHO	ng TEF/m ³	0,0002	0,0090	0,0017	0,0005
Hg	µg /m ³	0,128	124,4	41,3	15,4

Zusammenfassend lassen sich folgende Feststellungen treffen:

- ▶ Im Abgas eines Krematoriums wurden bei zwei Einzelmessungen PCDD/F-Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes von 0,1 ng/m³ entsprechend 27. BImSchV ermittelt; da einzelne Überschreitungen bei Krematorien nicht auszuschließen sind, wurden die Ergebnisse in die Auswertung übernommen.
- ▶ Die für Quecksilber ermittelten Emissionskonzentrationen variieren am stärksten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zwar in der 27. BImSchV keine Emissionsbegrenzung für Quecksilber festgelegt ist, seitens der Genehmigungsbehörden aber dennoch ein Grenzwert z.B. entsprechend 17. BImSchV von 0,05 mg/m³ einzuhalten ist. Entsprechend unterschiedlich sind die Anlagen seitens ihrer Abgasreinigung ausgelegt und fallweise in der Lage eine Emissionsbegrenzung von 0,05 mg/m³ zu unterschreiten.
- ▶ Viele Messergebnisse wurden unter Berücksichtigung von 50 % der Bestimmungsgrenze ermittelt, da trotz Anreicherung der Schadstoffkomponenten über Probenahmezeiten von min. 0,5 Stunden (BTX, PFOS) bis 6 Stunden (alle anderen POPs), die Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze lagen.
- ▶ Bei den Krematorien zeigen sich für die über der Bestimmungsgrenze nachgewiesenen Komponenten (PAK Total, PCDD/F, Hg, PentaCBz und HexaCBz) innerhalb der Messreihen und auch über alle Messreihen hinweg eine deutlicher Streuung der Messergebnisse als bei den anderen Anlagentypen.
- ▶ Es wurden folgende Komponenten oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen:
Benzol (an zwei Anlagen, vier Einzelmessungen)
Toluol (an einer Anlage, zwei Einzelmessungen)
PentaCBz und HexaCBz (an drei Anlagen, acht bzw. sieben Einzelmessungen)
PCN (an einer Anlage, zwei Einzelmessung)
BbF (an zwei Anlagen, drei Einzelmessung)

PAK Total (Einzelverbindungen an allen Anlagen)
 PCDD/F (Einzelverbindungen an allen Anlagen)
 PCB nach WHO (an einer Anlagen, zwei Einzelmessungen)
 Hg (an allen Anlagen, zehn Einzelmessungen)

- ▶ Nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen die Messergebnisse für Xylol, PFOS, BkF, BaP, I123P.

Summary

In order to meet the requirements of the reporting obligation according to the Stockholm Convention for reducing persistent organic pollutants (POPs) and in order to support the POPs Regulation, all emissions of POPs (e. g. PCDDs/F, PCBs, PAHs etc.) from plants of the waste management industry shall be determined. The collection of the emission data will be based on literature research and on emission measurements carried out at plants of clients. The investigations shall be carried out for at least four waste incineration plants, four sewage sludge incineration plants, old timber incineration plants, and crematories with representative measurements.

The measuring campaigns shall include the determination of the following POPs and pollutants:

- ▶ polycyclic aromatic hydrocarbons (total PAHs = sum of 16 PAHs according to EPA) as well as several selected PAHs (benzo-(a)-pyrene = BaP, benzo-(b)-fluoranthene = BbF, benzo-(k)-fluoranthene = BkF, indeno-1-2-3-cd-pyrene = I123P)
- ▶ dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) according to WHO)
- ▶ dioxins/furans (PCDD/F)
- ▶ hexachlorobenzene (HexaCBz)
- ▶ pentachlorobenzene (PentaCBz)
- ▶ benzene (B)
- ▶ toluene (T)
- ▶ xylene (X)
- ▶ perfluorooctane sulphate (PFOS)
- ▶ polychlorinated naphthalenes (PCN)
- ▶ mercury (Hg) in crematories

In order to make sure that the results are as representative as possible for the entire plants and installations in Germany, one important criterion was to select plants with different waste gas purification techniques.

In the following, the selected plant groups (waste incineration plants, sewage sludge incineration plants, old timber incineration plants, and crematories) are described and compared to the results of the emission measurements.

The tables summarize the results of the individual measurements for each type of plants. In each case, the minimum, maximum, arithmetic average and the median of the measurements carried out are given. If the analysis results were below the evaluation limit, they were considered with 50 % of the evaluation limit in order to enable a conservative averaging of the results. The presented values are based on the results of individual measurements based on dry exhaust gas under standard conditions (273 K, 1013 hPa) and a reference oxygen content of 11 % vol.

Waste incineration plants

The following two tables summarize the results of the investigations at four waste incineration plants.

Table 9. Selection of the investigated waste incineration plants (MVAs)

	MVA 1	MVA2	MVA3	MVA4 (EBS)
firing	moving grate	moving grate with main stream combustion chamber	moving grate	moving grate
waste flow rate	35 t/h	11,35 t/h	6,8 t/h	19,5 t/h
steam capacity	92,5 t/h	36,0 t/h	24 t/h	67,9 t/h
construction year of boiler	1990	1998	1985	2008
waste gas purification	spray dryer	fabric filter	SNCR plant	SNCR plant
	electric filter	heat exchanger	spray absorber	spray absorber
	low pressure Venturi scrubber	acid scrubber alkaline scrubber	fabric filter	dry sorption (lime+HOK)
	counter-current scrubber with filler body package	dioxin/heavy metal filter (activated carbon reactor)	SCR-DeNOx with additional burner	fabric filter
	aerosol separator	SCR-DeNOx		
	heat exchanger			
	SCR-DeNOx			
	entrained flow adsorption			
	fabric filter			

Table 10. Results of the investigations at waste incineration plants

component		minimum	maximum	average value	median
benzene	mg /m ³	0,010	0,030	0,017	0,018
xylene	mg /m ³	0,010	0,020	0,015	0,015
toluene	mg /m ³	0,010	0,070	0,028	0,020
hexaCBz	µg /m ³	0,001	0,042	0,010	0,004
pentaCBz	µg /m ³	0,001	0,192	0,048	0,018
PFOS	µg /m ³	0,004	0,034	0,011	0,009
PCN	µg /m ³	0,017	0,024	0,020	0,019
BbF	µg /m ³	0,0010	0,0050	0,0023	0,0015
BkF	µg /m ³	0,0010	0,0020	0,0014	0,0015
BaP	µg /m ³	0,0005	0,0020	0,0012	0,0015
I123P	µg /m ³	0,0005	0,0020	0,0012	0,0015
total PAHs	µg /m ³	0,087	0,363	0,168	0,117
PCDD/F	ng TEF/m ³	0,0005	0,0130	0,0062	0,0069
PCB according to WHO	ng TEF/m ³	0,0002	0,0010	0,0005	0,0002

In summary, the following main findings can be presented:

- ▶ At none of the waste incineration plants, POP concentrations which reach a scale corresponding with the generally binding German emission limit values or even exceeding them (e. g. TA Luft or 13th/17th BImSchV) were determined in the exhaust gas.
- ▶ Many measuring results were determined taking into account 50 % of the evaluation limit, as despite the accumulation of pollutants with sampling periods of at least 0.5 h (BTX, PFOS) up to 6 h (all other POPs) the analysis results were below the evaluation limits.
- ▶ With the exception of one individual measurement (total PAHs), all measuring results of the MVA 3 were below the evaluation limit.
- ▶ At the other waste incineration plants, the following components were determined which were above the evaluation limits:
benzene (one single measurement),
toluene (two plants, five single measurements),
pentaCBz und hexaCBz (at three plants),
total PAHs (individual compounds at three plants),
PCDD/F (individual compounds at three plants),
PCB according to WHO (individual compounds at three plants)
The measuring results for xylene, PFOS, PCN, BbF, BkF, BaP, I123P
were not above the evaluation limits.

Sewage sludge incineration plants

The following two tables summarize the results of the investigations at the four sewage sludge incineration plants.

Table 11. Selection of the investigated sewage sludge incineration plants (KVAs)

	KVA 1	KVA2	KVA3	KVA4
firing	fluidized bed	moving grate	fluidized bed	fluidized bed
flow rate (TR)	3,0 (3,3) t/h	2 x 3,6 t/h	3,2 ... 3,7 t/h	not specified
thermal output	6,5 MW	2 x 6 MW	not specified	10,1 MW
output	8 t/h steam	2 x 4 MW _{th} thermal oil	approx. 8,5 t/h steam	13,5 t/h steam
construction year	1996	2007	1988	1991/1992
waste gas purification	SNCR	SNCR	dosing of activated carbon	Electric Filter 1
	electric filter	double cyclone	electric filter	spray dryer
	dry sorption	spray dryer	spray tower	Electric Filter 2
	fabric filter	dry sorption	droplet separator	evaporative cooler
	double-loop scrubber	fabric filter		Scrubber I (acid)
	wet electric filters	Venturi scrubber		Scrubber II (alkaline)
	waste gas coolers	washing tower with filling material		

Table 12. Results of the investigations at the sewage sludge incineration plants

components		minimum	maximum	average value	median
benzene	mg /m ³	0,010	0,030	0,016	0,015
xylenes	mg /m ³	0,010	0,030	0,016	0,015
toluene	mg /m ³	0,010	0,030	0,016	0,015
hexaCBz	µg /m ³	0,0005	0,0015	0,0009	0,0010
pentaCBz	µg /m ³	0,0005	0,0015	0,0009	0,0010
PFOS	µg /m ³	0,0165	0,0230	0,0200	0,0203
PCN	µg /m ³	0,0120	0,0355	0,0237	0,0258
BbF	µg /m ³	0,0010	0,0025	0,0016	0,0015
BkF	µg /m ³	0,0010	0,0025	0,0016	0,0015
BaP	µg /m ³	0,0010	0,0025	0,0016	0,0015
I123P	µg /m ³	0,0010	0,0025	0,0019	0,0020
total PAHs	µg /m ³	0,177	0,637	0,302	0,233
PCDD/F	ng TEF/m ³	0,0003	0,0010	0,0007	0,0008
PCB according to WHO	ng TEF/m ³	0,0001	0,0003	0,0002	0,0001

In summary, the following main findings can be presented:

- ▶ At none of the sewage sludge incineration plants, POP concentrations which reach a scale corresponding with the generally binding German emission limit values or even exceeding them (e. g. TA Luft or 13th/17th BImSchV) were determined in the exhaust gas.
- ▶ Many measuring results were determined taking into account 50 % of the evaluation limit as despite the accumulation of pollutants with sampling periods of at least 0,5 h (BTX, PFOS) up to 6 h (all other POPs) the analysis results were below the evaluation limits.
- ▶ Within the series of measurements at the sewage sludge incineration plants, only a relatively narrow distribution of the measured results could be determined which is mainly due to varying sampling volumes.
- ▶ For the following components, results above the evaluation limits were determined:
PCN (at one plant, all individual measurements)
total PAHs (individual compounds at all plants)
PCDD/F (at three plants, individual compounds with six individual measurements)
- ▶ The measuring results for benzene, toluene, xylene, pentaCBz, hexaCBz, PFOS, BbF, BkF, BaP, I123P, and PCB according to WHO were not above the evaluation limits.

Waste wood incineration plants

The following two tables summarize the results of the investigations at the four waste wood incineration plants.

Table 13. Selection of the investigated waste wood incineration plants (AVA)

	AVA 1	AVA2	AVA3	AVA4
firing	fluidized bed	grate boilers 2+3	moving grate	grate firing
flow rate	18,2 t/h	2x11,7 t/h	5,3 t/h	approx. 5,3 t/h
type of wood	AI to AIII	AI to AIV	AI bis A III	AI to A III
steam capacity	49 t/h	2 x 50 t/h	23 t/h steam	23,5 t/h
construction year	1998/2005	2002	2002	2005
waste gas purification	dry sorption	SNCR plant	SNCR plant	SNCR plant
	fabric filter	cyclone plant	cyclone plant	cyclone plant
	fabric filter (Rezigas)	quench tower	dry sorption	dry sorption
		dry sorption	fabric filter	fabric filter
		fabric filter	exhaust gas recirculation	
		exhaust gas recirculation		

Table 14. Results of the investigated waste wood incineration plants

components		minimum	maximum	average value	median
benzene	mg / m ³	0,005	0,015	0,009	0,010
xylenes	mg / m ³	0,005	0,015	0,009	0,010
toluene	mg / m ³	0,005	0,024	0,010	0,010
hexaCBz	µg / m ³	0,0005	0,0020	0,0010	0,0008
pentaCBz	µg / m ³	0,0005	0,0030	0,0013	0,0008
PFOS	µg / m ³	0,0110	0,0205	0,0156	0,0163
PCN	µg / m ³	0,0090	0,0159	0,0126	0,0128
BbF	µg / m ³	0,0005	0,0034	0,0013	0,0010
BkF	µg / m ³	0,0005	0,0012	0,0009	0,0010
BaP	µg / m ³	0,0005	0,0012	0,0009	0,0010
I123P	µg / m ³	0,0005	0,0012	0,0009	0,0010
total PAHs	µg / m ³	0,073	0,269	0,142	0,130
PCDD/F	ng TEF/m ³	0,0004	0,0110	0,0044	0,0050
PCB nach WHO	ng TEF/m ³	0,00004	0,0012	0,0003	0,0001

In summary, the following main findings can be presented:

- ▶ At none of the waste wood incineration plants, POP concentrations which reach a scale corresponding with the generally binding German emission limit values or even exceeding them (e. g. TA Luft or 13th/17th BImSchV) were determined in the exhaust gas.
- ▶ Many measuring results were determined taking into account 50 % of the evaluation limit as despite the accumulation of pollutants with sampling periods of at least 0.5 h (BTX, PFOS) up to 6 h (all other POPs) the analysis results were below the respective evaluation limits.
- ▶ Within the series of measurements at the waste wood incineration plants, only a relatively narrow distribution of the measured results could be determined which is mainly due to varying sampling volumes.
- ▶ For the following components results above the evaluation limits were determined:
- ▶ toluene (one plant, one single measurement)
- ▶ pentaCBz and hexaCBz (at two plants)
- ▶ BbF (at two plants, one single measurement at each plant)
- ▶ total PAHs (individual compounds at all plants)
- ▶ PCDD/F (individual compounds at all plants)
- ▶ PCB according to WHO (at two plants)
- ▶ The measuring results for benzene, xylene, PFOS, PCN, BkF, BaP, I123P were not above the evaluation limits..

Crematories

The following two tables summarize the results of the investigations at the four crematories.

Table 15. Selection of the investigated crematories

	Crematory 1	Crematory 2	Crematory 3	Crematory 4
burner	main burner afterburner Line 1/Line 2	main burner remains burner afterburner	main burner afterburner	main burner mineralisation burner afterburner
construction year	2003/2007	2010	1999/2004	2009
exhaust gas purification	heat exchanger	heat exchanger	heat exchanger	cyclone
	evaporation cooler	cyclone	heat exchanger	heat exchanger
	cooling air	catalytic fabric filter	partial quench	catalytic fabric filter
	fabric filter		fabric filter	
	TiO ₂ /V ₂ O ₅ catalyst (L1) activated carbon adsorber (L2)		fixed-bed adsorber	

Table 16. Results of the investigations at the crematories

components		minimum	maximum	average value	median
benzene	mg /m ³	0,005	0,160	0,051	0,015
xylenes	mg /m ³	0,005	0,060	0,016	0,013
toluene	mg /m ³	0,005	0,070	0,022	0,013
hexaCBz	µg /m ³	0,0015	0,05	0,0163	0,0150
pentaCBz	µg /m ³	0,0015	0,228	0,0575	0,0490
PFOS	µg /m ³	0,008	0,0435	0,0169	0,0113
PCN	µg /m ³	0,0270	0,1145	0,0565	0,0525
BbF	µg /m ³	0,0010	0,0170	0,0057	0,0040
BkF	µg /m ³	0,0010	0,0045	0,0029	0,0035
BaP	µg /m ³	0,0010	0,0045	0,0029	0,0035
I123P	µg /m ³	0,0010	0,0045	0,0029	0,0035
total PAHs	µg /m ³	0,102	2,994	1,054	0,779
PCDD/F	ng TEF/m ³	0,0010	0,3520	0,0595	0,0050
PCB according to WHO	ng TEF/m ³	0,0002	0,0090	0,0017	0,0005
Hg	µg /m ³	0,128	124,4	41,3	15,4

In summary, the following main findings can be presented:

- ▶ Two single measurements in the exhaust gas of one crematory showed PCDD/F concentrations exceeding the limit value of 0,1 ng/m³ according to 27th BImSchV. As individual exceedings cannot be excluded in case of crematories, the results were included in the evaluation.
- ▶ The emission concentrations for mercury vary the most. This is due to the fact that the 27th BImSchV does not include an emission limit for mercury but on the other hand the licensing authorities determine a limit value of 0,05 mg/m³ according to the 17th BImSchV. This leads to respectively different designs of the plants' exhaust gas purification facilities and in some cases to the possibility of achieving emissions below the limit value to 0,05 mg/m³.
- ▶ Many measuring results were determined taking into account 50 % of the evaluation limit as despite the accumulation of pollutants with sampling periods of at least 0.5 h (BTX, PFOS) up to 6 h (all other POPs) the analysis results were below the respective evaluation limits.
- ▶ Within the series of measurements at the crematories, for the components determined above the evaluation limits (total PAHs, PCDD/F, Hg, PentaCBz, and HexaCBz) there was a higher dispersion of the measuring results than for the other plant types.
- ▶ For the following components results above the evaluation limits were determined:
 - benzene (at two plants, four single measurements)
 - toluene (one plant, two single measurements)
 - PCN (at one plant, two single measurements)
 - BbF (at two plants, three single measurement)
 - total PAHs (individual compounds at all plants)
 - PCDD/F (individual compounds at all plants)
 - PCB according to WHO (at one plant, two single measurements)
 - Hg (at all plants, ten single measurements)
- ▶ The measuring results for xylene, PFOS, BkF, BaP, and I123P were not above the evaluation limits.

1 Einleitung und Aufgabenstellung

1.1 Einführung in die Thematik

Zur Erfüllung von Berichtspflichten zum Stockholmer Übereinkommen zur Begrenzung persistenter organischer Schadstoffe (POPs) und um zur EU-POP-Verordnung beizutragen, sollen die Emissionen an POPs (z.B. PCDD/F, PCB, PAK, u. a.) aus Anlagen der Abfallwirtschaft ermittelt werden. Die Erhebung der Emissionsdaten wird in diesem Rahmen sowohl auf Basis von Literaturrecherchen als auch durch Emissionsmessungen an Praxisanlagen durchgeführt. Die Untersuchungen sollen jeweils an mindestens vier Abfallverbrennungsanlagen, Klärschlammverbrennungsanlagen, Altholzverbrennungsanlagen und Krematorien mit repräsentativen Messungen erfolgen.

Zusätzlich sollen unter Berücksichtigung der OSPAR-Empfehlung 2003/04 hinsichtlich der Quecksilberemissionen aus Krematorien die Hg-Konzentrationen im Abgas ausgewählter Anlagen ermittelt werden. Die Untersuchungen sollen dazu beitragen, die bisher unzureichende Datenlage bei den genannten Anlagen zu verbessern.

Die Messkampagnen sollen die Erfassung folgender POPs und Schadstoffe beinhalten:

- ▶ polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in Summe (PAK Total = Summe aus 16 PAK nach EPA) sowie einzelne separat ausgewiesene PAK (Benzo-(a)-pyren = BaP, Benzo-(b)-fluoranthren = BbF, Benzo-(k)-fluoranthren = BkF, Indeno-1-2-3-cd-pyren = I123P)
- ▶ dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB nach WHO)
- ▶ Dioxine/Furane (PCDD/F)
- ▶ Hexachlorbenzol (HexaCBz)
- ▶ Pentachlorbenzol (PentaCBz)
- ▶ Benzol (B)
- ▶ Toluol (T)
- ▶ Xylol (X)
- ▶ Perfluorooctansulfonat (PFOS)
- ▶ Polychlorierte Naphthaline (PCN)
- ▶ Quecksilber (Hg) bei Krematorien

Hinweis:

Eine Vielzahl der in dieser Dokumentation dargestellten Konzentrationen liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Insbesondere für die Summenbildung muss eine Konvention zum Umgang mit solchen Ergebnissen getroffen werden.

Berücksichtigt man die Bestimmungsgrenzen nicht, muss in einigen Fällen ein Konzentrationswert z.B. „0,0 µg/m³“ angegeben werden, was nicht den Tatsachen entspricht. Ebenfalls entspricht es nicht den Tatsachen, wenn jeweils die volle Bestimmungsgrenze als Konzentrationswert angegeben wird, bzw. in die Summenbildung (z.B. von PCDD/F, PAK Total, PCB nach WHO) eingeht.

Auch andere Vorgehensweisen wie die Berücksichtigung der halben Nachweisgrenze sind bekannt. Die Angabe von Konzentrationen mit einem „<“-Zeichen ist ebenfalls schwierig nachvollziehbar.

Alle Einzel- und Summen-Konzentrationen der nachfolgenden Dokumentation, die unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, werden jeweils mit der halben Bestimmungsgrenze angegeben bzw. bei der Summenbildung berücksichtigt. Dies führt zu einer noch konservativen Abschätzung der Emissionskonzentrationen der Einzelkomponenten bzw. Summenparameter, erscheint aber als plausible Vorgehensweise. Entsprechende Werte werden in Diagrammen andersfarbig dargestellt (bei Summenwerten nur dann, wenn alle Einzelkomponenten unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen).

Die Ergebnisse der PCDD/F-Messungen werden unter Verwendung der Äquivalenzfaktoren nach 17. BImSchV in der Fassung vom 02. Mai 2013 berechnet (Äquivalenzfaktoren WHO-TEF 2005).

Darüber hinaus sind alle Ergebnisse bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% im Abgas, sofern der zeitgleich gemessene O₂-Gehalt mehr als 11 Vol.-% beträgt.

1.2 Auftraggeber

Umweltbundesamt Dessau
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

1.3 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung umfasst sowohl die Erhebung der Emissionsdaten auf Basis von Literaturrecherchen als auch durch Emissionsmessungen an Praxisanlagen. Bei der Literaturrecherche soll dabei in erster Linie auf Müller-BBM-eigene Erhebungen zurückgegriffen werden, von welchen die Plausibilität der Ergebnisse gewährleistet ist. Die Emissionsmessungen sollen jeweils an mindestens vier Abfallverbrennungsanlagen, Klärschlammverbrennungsanlagen, Altholzverbrennungsanlagen und Krematorien mit repräsentativen Messungen erfolgen.

Ziel des Messprogrammes war die Ermittlung plausibler Emissionskonzentrationen der unter Abschnitt 1.1. aufgelisteten Schadstoffe unter Verwendung von Referenzmessverfahren für die Probenahme und Analytik.

Diese Analysen von PAH Total, PCB nach WHO, PCDD/F, HexaCBz, PentaCBz sowie PCN erfolgten durch:

mas münster analytical solutions gmbH
Technologiepark Münster
Mendelstraße 11
48149 Münster

Diese Analysen von PFOS erfolgten durch:

AGROLAB Labor GmbH
Dr.-Pauling-Straße 3
84079 Bruckberg

Diese Analysen von BTX und Hg erfolgten durch:

Müller-BBM GmbH
Niederlassung Nürnberg
Fürther Straße 35
90513 Zirndorf

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Literaturrecherche sowie die Ergebnisse der Emissionsmessungen abschließend zusammen.

2 Literaturrecherche und Werbung von jeweils vier Anlagen der unterschiedlichen Kategorien

2.1 Werbung von jeweils vier Anlagen der unterschiedlichen Kategorie

2.1.1 Abfallverbrennungsanlagen

Es wurden folgende Anlagen für die Untersuchungen ausgewählt.

Tabelle 17. Auswahl der zu untersuchenden Abfallverbrennungsanlagen

	MVA 1	MVA2	MVA3	MVA4 (EBS)
Feuerung	Rückschubrost	Vorschubrost mit Mittelstrombrennkammer	Vorschubrost	Vorschubrost
Mülldurchsatz	35 t/h	11,35 t/h	6,8t/h	19,5 t/h
Dampfleistung	92,5 t/h	36,0 t/h	24 t/h	67,9 t/h
Kessel-Baujahr	1990	1998	1985	2008
Abgasreinigung	Sprühtrockner	Gewebefilter	SNCR-Anlage	SNCR-Anlage
	Elektrofilter	Wärmetauscher	Sprühabsorber	Sprühabsorber
	Niederdruck-Venturiwäscher	saurer Wäscher alkalischer Wäscher	Gewebefilter	Trockensorption (Kalk+HOK)
	Gegenstromwäscher mit Füllkörperpackung	Dioxin-/Schwermetall- Filter (Aktivkohleraktor)	SCR-DeNOx mit Zusatzbrenner	Gewebefilter
	Aerosolabscheider	SCR-DeNOx		
	Wärmetauscher			
	SCR-DeNOx			
	Flugstrom-Adsorp.			
	Gewebefilter			

2.1.2 Klärschlammverbrennungsanlagen

Es wurden folgende Anlagen für die Untersuchungen ausgewählt.

Tabelle 18. Auswahl der zu untersuchenden Klärschlammverbrennungsanlagen

	KVA 1	KVA2	KVA3	KVA4
Feuerung	Wirbelschicht	Vorschubrost	Wirbelschicht	Wirbelschicht
Durchsatz (TR)	3,0 (3,3) t/h	2 x 3,6 t/h	3,2 ... 3,7 t/h	keine Angaben
FWL	6,5 MW	2 x 6 MW	keine Angabe	10,1 MW
Leistung	8 t/h Dampf	2 x 4 MW _{th} Thermalöl	ca. 8,5 t/h Dampf	13,5 t/h Dampf
Baujahr	1996	2007	1988	1991/1992
Abgasreinigung	SNCR	SNCR	Aktivkohledosierung	Elektrofilter 1
	Elektrofilter	2-fach-Zyklon	Elektrofilter	Sprühtrockner
	Trockensorption	Sprühtrockner	Sprühturm	Elektrofilter 2
	Gewebefilter	Trockensorption	Tropfenabscheider	Verdampfungskühler
	Zweikreiswäscher	Gewebefilter		Wäscher I (sauer)
	Nasselektrofilter	Venturiwäscher		Wäscher II (alkalisch)
	Abgaskühler	Waschturm mit Füllkörpern		

2.1.3 Altholzverbrennungsanlagen

Es wurden folgende Anlagen für die Untersuchungen ausgewählt.

Tabelle 19. Auswahl der zu untersuchenden Altholzverbrennungsanlagen

	AVA 1	AVA2	AVA3	AVA4
Feuerung	Wirbelschicht	Rostkessel 2+3	Vorschubrost	Rostfeuerung
Durchsatz	18,2 t/h	2x11,7 t/h	5,3 t/h	ca. 5,3 t/h
Holzart	AI bis AIII	AI bis AIV	AI bis A III	AI bis A III
Dampfleistung	49 t/h	2 x 50 t/h	23 t/h Dampf	23,5 t/h
Baujahr	1998/2005	2002	2002	2005
Abgasreinigung	Trockensorption	SNCR-Anlage	SNCR-Anlage	SNCR-Anlage
	Gewebefilter	Zyklonanlage	Zyklonanlage	Zyklonanlage
	Gewebefilter (Rezigas)	Quenchturm	Trockensorption	Trockensorption
		Trockensorption	Gewebefilter	Gewebefilter
		Gewebefilter	Abgas-Rezirkulation	
		Abgas-Rezirkulation		

2.1.4 Krematorien

Es wurden folgende Anlagen für die Untersuchungen ausgewählt.

Tabelle 20. Auswahl der zu untersuchenden Krematorien

	Krematorium 1	Krematorium 2	Krematorium 3	Krematorium 4
Brenner	Hauptbrenner Nachbrenner Linie 1/Linie 2	Hauptbrenner Restebrenner Nachbrenner	Hauptbrenner Nachbrenner	Hauptbrenner Mineralisierungsbrenner Nachbrenner
Baujahr	2003/2007	2010	1999/2004	2009
Abgasreinigung	Wärmetauscher	Wärmetauscher	Wärmetauscher	Zyklon
	Verdampfungskühler	Zyklon	Wärmetauscher	Wärmetauscher
	Kühlluft	kat. Gewebefilter	Teilquenche	kat. Gewebefilter
	Gewebefilter		Gewebefilter	
	TiO ₂ /V ₂ O ₅ Katalysator (L1) Aktivkohleabsorber (L2)		Festbettadsorber	

2.2 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche soll dazu dienen, zusätzlich zu den Ergebnissen der Emissionsmessungen, weitere Daten und Informationen hinsichtlich der beschriebenen Aufgabenstellung zu ermitteln.

Dabei werden ausschließlich plausible und nachvollziehbare Daten verwendet.

Vor diesem Hintergrund soll die Literaturrecherche ausschließlich auf Messdaten basieren, die im Rahmen von eigenen Messprojekten (z.B.: Abnahmemessungen oder wiederkehrende Einzelmessungen) ermittelt wurden.

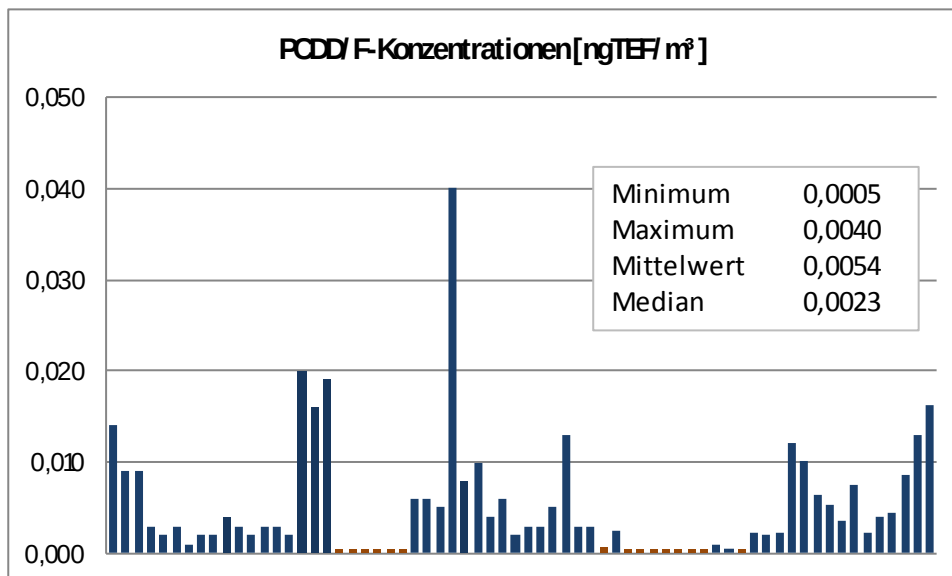
Bestandteil der Recherche sind neben der Dokumentation der PCDD/F-Messergebnisse weitere POP-Einzelmesswerte, z. B. PAK Total, B(a)P, PCB nach WHO, PentaCBz u.a. soweit vorhanden. Es werden nur Daten verwendet, die im bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlagen (hohe Auslastung ohne Störungen) ermittelt wurden.

Auf die Beschreibung der Anlagen, Abgasreinigung und Betriebsbedingungen wird an dieser Stelle aus Gründen der Vertraulichkeit verzichtet.

2.2.1 Ergebnisse von Abfallverbrennungsanlagen aus der Literaturrecherche

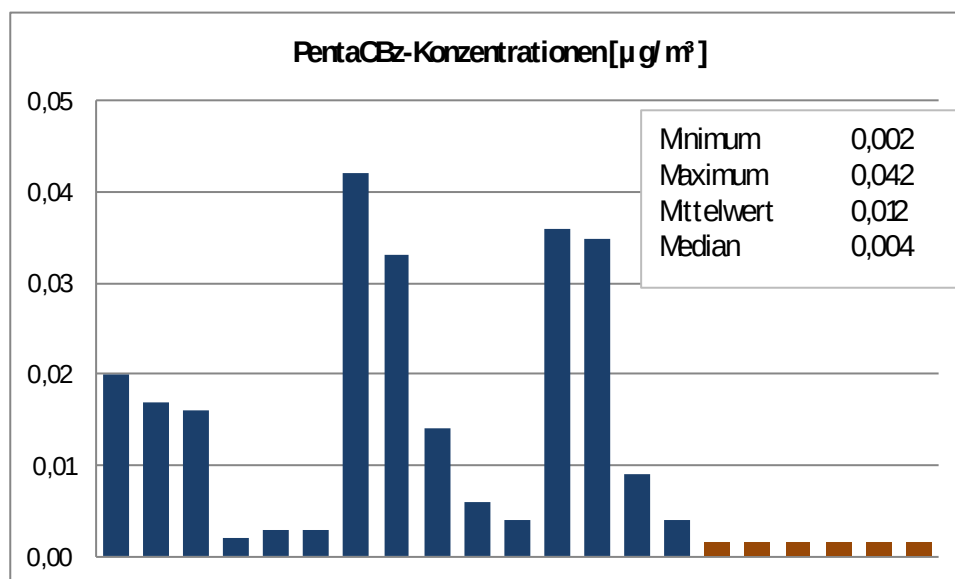
In den folgenden Abbildungen werden die im Rahmen wiederkehrender Messungen an Abfallverbrennungsanlagen ermittelten Emissionskonzentrationen verschiedener POPs dargestellt, bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa), sowie einen Bezugssauerstoffgehalt von 11 Vol. %.

Abbildung 1: MVA– PCDD/F-Konzentrationen aus der Literaturrecherche



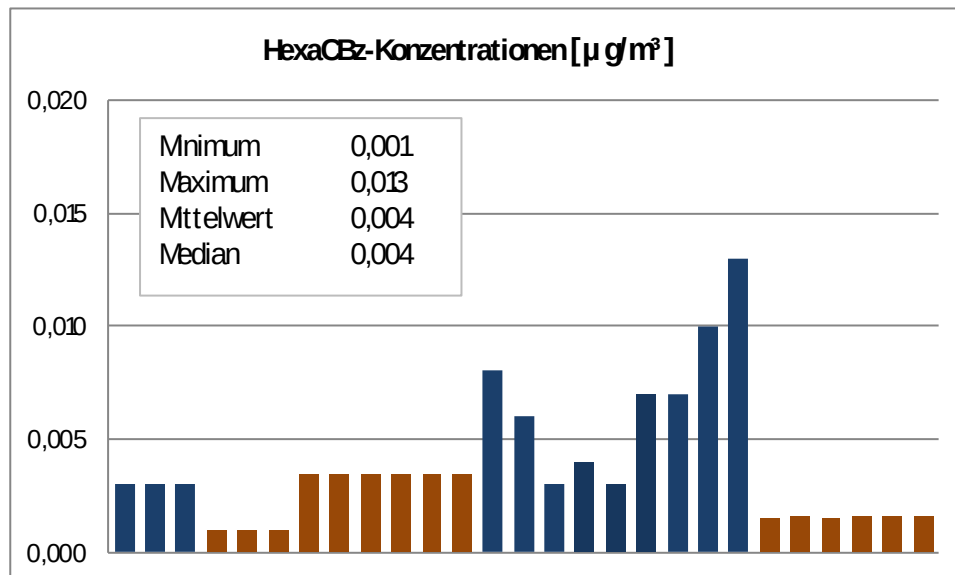
Die Auswertung von 66 Einzelmessungen im Abgas von 20 Mülllinien aus 8 weiteren Abfallverbrennungsanlagen ergab PCDD/F-Konzentrationen zwischen 0,0005 ng TEF/m³ bis 0,0040 ng TEF/m³. Der Mittelwert betrug 0,0054 ng TEF/m³, der Median 0,0023 ng TEF/m³. In 15 Proben wurden keine Einzelverbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt.

Abbildung 2: MVA – PentaCBz-Konzentrationen aus der Literaturrecherche



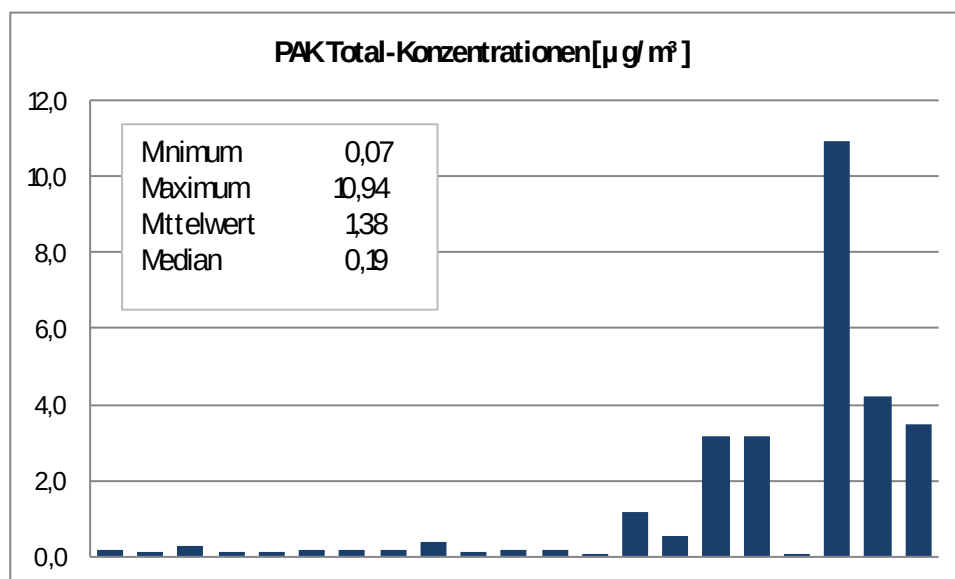
Die Auswertung von 21 Einzelmessungen im Abgas von 7 Mülllinien aus 4 weiteren Abfallverbrennungsanlagen ergab PentaCBz-Konzentrationen zwischen 0,002 µg/m³ bis 0,042 µg/m³. Der Mittelwert betrug 0,012 µg/m³, der Median 0,004 µg/m³. Die Ergebnisse von 6 Proben lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze und wurden bei den Mittelwertberechnungen mit 50 % der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 3: MVA – HexaCBz-Konzentrationen aus der Literaturrecherche



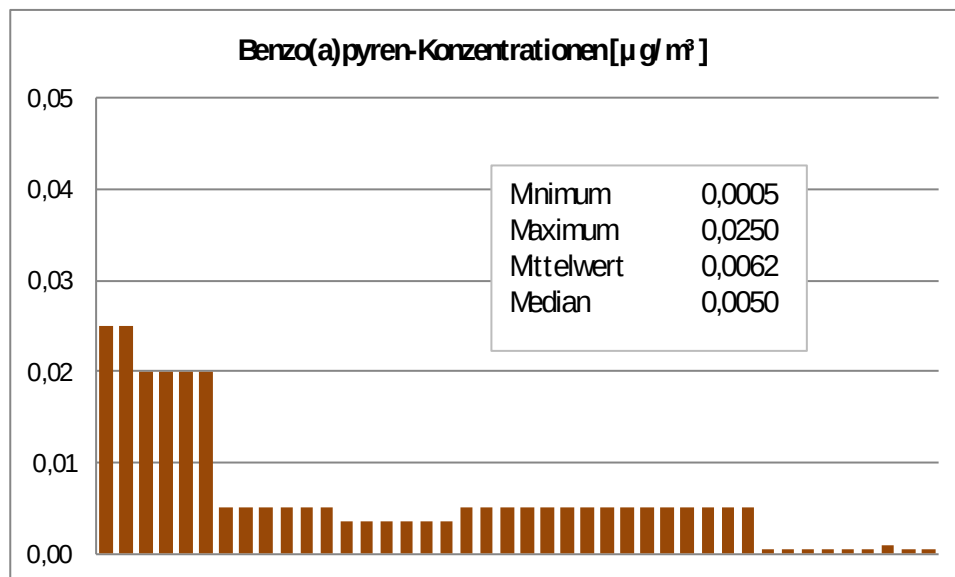
Die Auswertung von 27 Einzelmessungen im Abgas von 9 Mülllinien aus 4 weiteren Abfallverbrennungsanlagen ergab HexaCBz-Konzentrationen zwischen 0,001 µg/m³ bis 0,013 µg/m³. Der Mittelwert betrug 0,004 µg/m³, der Median ebenfalls 0,004 µg/m³. Die Ergebnisse von 15 Proben lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze und wurden bei den Mittelwertberechnungen mit 50 % der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 4: MVA – PAK-Konzentrationen aus der Literaturrecherche



Die Auswertung von 21 Einzelmessungen im Abgas von 5 Mülllinien aus 2 weiteren Abfallverbrennungsanlagen ergab PAK-Konzentrationen zwischen $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Mittelwert betrug $1,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der Median $0,019 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Einzelkomponenten lagen bei vielen Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenze und wurden bei der Summenbildung mit 50 % der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 5: MVA – BaP-Konzentrationen aus der Literaturrecherche



Die Auswertung von 42 Einzelmessungen im Abgas von 12 Mülllinien aus 5 weiteren Abfallverbrennungsanlagen ergab BaP-Konzentrationen zwischen $0,0005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $0,0250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Mittelwert betrug $0,0062 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der Median $0,0050 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Alle Ergebnisse lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze und wurden mit 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnet. Die unterschiedlichen Konzentrationen beruhen auf unterschiedlich empfindlichen Analyseverfahren und differierenden Absaugvolumina.

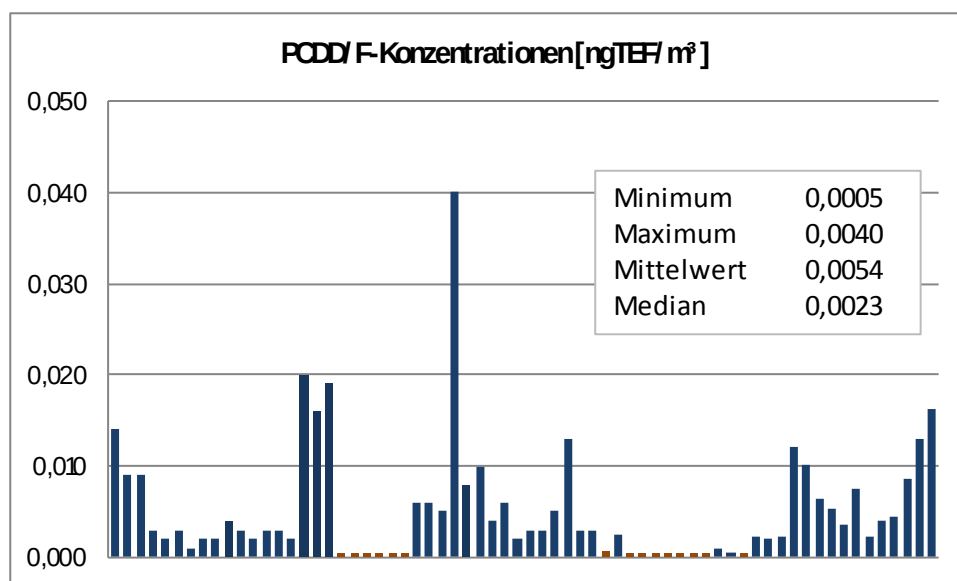
Auf die Darstellung von BbF, BkF und I123P wird verzichtet, da die Bestimmungsgrenzen weitgehend identisch sind und sich somit keine zusätzliche Erkenntnisquelle ergibt.

2.2.2 Ergebnisse von Klärschlammverbrennungsanlagen aus Literaturrecherchen

In den nachfolgenden Abbildungen werden die im Rahmen wiederkehrender Messungen an Klärschlammverbrennungsanlagen ermittelten Emissionskonzentrationen verschiedener POPs dargestellt, jeweils bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa), sowie einen Bezugssauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

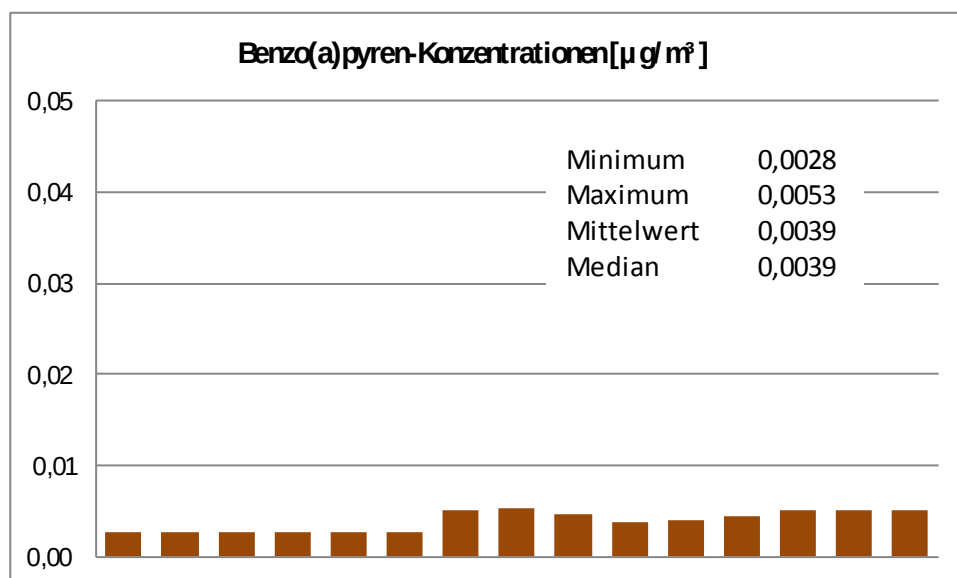
Die hier ausgewerteten Einzelmessungen stammen von den gleichen Klärschlammverbrennungen, an welchen auch die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Messungen erfolgten. Die Werte stammen jedoch aus anderen Jahren und teilweise von anderen Verbrennungslinien.

Abbildung 6: KVA– PCDD/F-Konzentrationen aus der Literaturrecherche



Die Auswertung von 21 Einzelmessungen im Abgas von 7 Verbrennungslinien aus 4 Klärschlammverbrennungsanlagen ergab PCDD/F-Konzentrationen zwischen 0,0004 ng TEF/m³ bis 0,0021 ng TEF/m³. Der Mittelwert betrug 0,0008 ng TEF/m³, der Median 0,0007 ng TEF/m³. In 15 Proben wurden keine Einzelverbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt.

Abbildung 7: KVA– BaP-Konzentrationen aus der Literaturrecherche

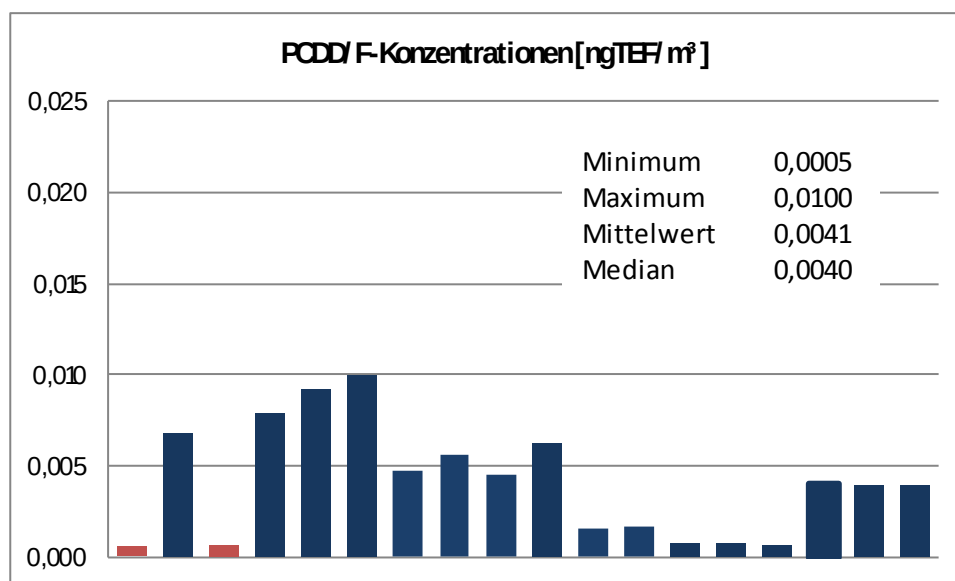


Die Auswertung von 15 Einzelmessungen im Abgas von 5 Verbrennungslinien aus 3 Klärschlammverbrennungsanlagen ergab BaP-Konzentrationen zwischen 0,0028 µg/m³ bis 0,0053 µg/m³. Der Mittelwert betrug 0,0039 µg/m³, der Median ebenfalls 0,0039 µg/m³. Alle Ergebnisse lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

2.2.3 Weitere Ergebnisse von Altholzverbrennungsanlagen aus Literaturrecherchen

In den nachfolgenden Abbildungen werden die im Rahmen wiederkehrender Messungen an Altholzverbrennungsanlagen ermittelten Emissionskonzentrationen verschiedener POPs dargestellt, jeweils bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa), sowie einen Bezugssauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

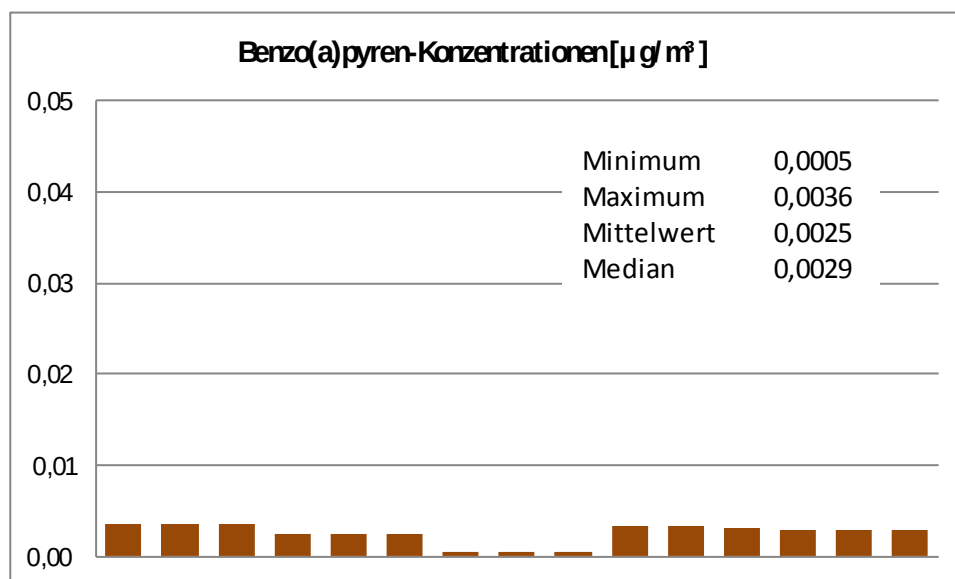
Abbildung 8: AVA– PCDD/F-Konzentrationen aus der Literaturrecherche



Die hier ausgewerteten Einzelmessungen stammen von den gleichen Altholzverbrennungen, an welchen auch die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Messungen erfolgten. Die Werte stammen jedoch aus anderen Jahren.

Die Auswertung von 18 Einzelmessungen im Abgas von 6 Altholzverbrennungsanlagen ergab PCDD/F-Konzentrationen zwischen 0,0005 ng TEF/m³ bis 0,0100 ng TEF/m³. Der Mittelwert betrug 0,0041 ng TEF/m³, der Median 0,0040 ng TEF/m³. In zwei Proben wurden keine Einzelverbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt.

Abbildung 9: AVA– BaP-Konzentrationen aus der Literaturrecherche

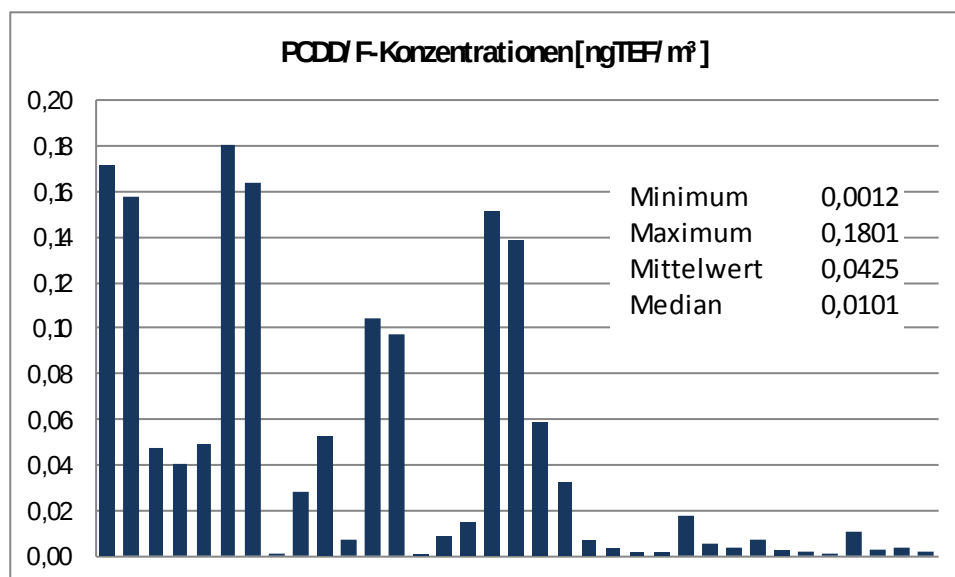


Die Auswertung von 15 Einzelmessungen im Abgas von 5 Altholzverbrennungsanlagen ergab BaP-Konzentrationen zwischen $0,0005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $0,0036 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Mittelwert betrug $0,0025 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der Median $0,0029 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Alle Ergebnisse lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

2.2.4 Weitere Ergebnisse von Krematorien aus Literaturrecherchen

In den nachfolgenden Abbildungen werden die im Rahmen wiederkehrender Messungen an Krematorien ermittelten Emissionskonzentrationen verschiedener POPs dargestellt, jeweils bezogen auf Norm-bedingungen (273 K, 1013 hPa), sowie einen Bezugssauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Abbildung 10: Krematorien– PCDD/F-Konzentrationen aus der Literaturrecherche



Die Auswertung von 35 Einzelmessungen im Abgas von 21 Verbrennungslinien aus 14 Krematorien ergab PCDD/F-Konzentrationen zwischen $0,001 \text{ ng TEF}/\text{m}^3$ bis $0,180 \text{ ng TEF}/\text{m}^3$. Der Mittelwert betrug $0,042 \text{ ng TEF}/\text{m}^3$, der Median $0,010 \text{ ng TEF}/\text{m}^3$.

3 Eingesetzte Messverfahren und Darstellung der Einzelergebnisse

Die Messungen wurden soweit verfügbar, nach einschlägigen Richtlinien (DIN EN, VDI etc.) durchgeführt. Für Komponenten für die keine speziellen Probenahmerichtlinien vorliegen (PFOS, PCN) wurde mit den akkreditierten Laboren die entsprechende Vorgehensweise abgesprochen.

Die angewandten Messverfahren werden nachfolgend dokumentiert.

3.1 Polychlorierte Dibenzodioxine und furane (PCDD/PCDF), dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB), Polychlorierte Benzole (PCBz), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Naphthaline (PCN)

3.1.1 Messverfahren/VDI-Richtlinien

DIN EN 1948 - 1: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von PCDD/PCDF und dioxinähnlichen PCB - Teil 1: Probenahme von PCDD/PCDF

Die in der Richtlinie beschriebenen Probenahmeverfahren sind auch für die Beprobung der nachfolgend aufgeführten Messobjekte geeignet.

3.1.2 Messobjekte

- ▶ polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/PCDF) gemäß 17. BImSchV
- ▶ dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB)
- ▶ polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK nach EPA)
(incl. Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Indeno(1,2,3-cd)pyren)
- ▶ Pentachlorbenzol (PentaCBz) und Hexachlorbenzol (HexaCBz)
- ▶ polychlorierte Naphthaline (PCN)

3.1.3 Messplatzaufbau

Entnahmesonde:	wassergekühlte Titansonde mit auswechselbarem Duranglasrohr
Absorptionseinrichtung:	Kondensatgefäß mit Tauchrohr (2,5 l), Tropfenabscheider und nachgeschalteter Kartusche mit Feststoffadsorbens
Sorptionsmittel:	gereinigtes XAD-2
Sorptionsmittelmenge:	ca. 2 x 50 g
Aufbau der Probenahmeeinrichtung:	wassergekühlte Sonde; Kondensatgefäß; Tropfenabscheider; XAD-Kartusche;
Pumpe; Gasuhr mit Temperaturfühler Durchfluss:	ca. 1 – 2 m ³ /h
Abstand zwischen Ansaugöffnung der Entnahmesonde und Sorptionsmittel:	je nach Sonde 1,5 m oder 2,5 m
Probentransfer:	gekühlt, mit Aluminiumfolie lichtdicht verpackt, Kondensat und Filter in Braunglas-Flaschen

Zeitraum zwischen Probenahme
und Analyse:

max. 30 Tage

Beteiligung eines Fremdlabors:

Die Analyse der Proben erfolgt durch das akkreditier-
te und nach § 26 BImSchG für die Bereiche M2 und
N2 notifizierte Labor

mas | münster analytical solutions gmbh, 48149 Münster

3.1.4 Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/PCDF), dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB)

3.1.4.1 Analytische Bestimmung

Beschreibung des Analysenverfahrens:
auflösender GC/HRMS

Bestimmung des PCDD-/PCDF-Gehaltes mittels hoch-

Aufarbeitung des Probenmaterials

HCl-Aufschluss der Filterwatte, Trocknung des Filtrerrückstandes und des XAD-Harzes, Zugabe von ¹³C₁₂-markierten PCDF-Extraktionsstandards, Soxhlet-Extraktion mit Toluol/ Aceton, Zugabe von ¹³C₁₂-markierten internen PCDD/F- und PCB-Standards, mehrstufiges clean-up des Extraktes unter Trennung von PCB und PCDD/F, Zugabe von ¹³C₁₂-markierten PCDD/F- und PCB-Wiederfindungsstandards zu den Messlösungen, getrennte HRGC/ HRMS-Analyse auf PCDD/F und PCB, Quantifizierung über die internen PCDD/F bzw. PCB Standards (Isotopenverdünnungsmethode analog zu z.B. EN 1948 2/3)

Analysengeräte

Kaltaufgabesystem (Thermo PTV);
Gaschromatograph (Thermo Trace GC Ultra)
Massenspektrometer (Thermo MAT 95 XP)

Trennsäulen: 60 m DB-5 MS
60 m RTX 2330

Standards:

¹³C₁₂-Standards gemäß EN-1948; Auswertung nach
Retentionszeiten und Isotopenverhältnis-Vergleich

Für die PCDD/F wird entsprechend der 17. BImSchV in der Fassung vom 14. August 2003, zuletzt geändert am 27. Januar 2009, die Berechnung der "Toxischen Equivalente" durchgeführt. Die Angabe der "Toxischen Equivalente" erfolgt in TEF. Die Berechnungsfaktoren für die einzelnen Komponenten sind der u.a. Übersicht zu entnehmen.

2378-TetraCDD	1
2378-TetraCDF	0,1
12378-PentaCDD	0,5
12378-PentaCDF	0,05
23478-PentaCDF	0,5
123478-HexaCDD	0,1
123478-HexaCDF	0,1
123678-HexaCDD	0,1
123678-HexaCDF	0,1
123789-HexaCDD	0,1
123789-HexaCDF	0,1
234678-HexaCDF	0,1
1234678-HeptaCDD	0,01
1234678-HeptaCDF	0,01
1234789-HeptaCDF	0,01
OctaCDD	0,001
OctaCDF	0,001

Für die dioxinähnlichen PCB-Isomere (coplanare PCB) werden die im Jahre 2005 durch die WHO aktualisierten Toxizitätsequivalenzfaktoren verwendet (WHO-TEF 2005; im Bericht kurz mit TEF bezeichnet):

3,3',4,4'-TeCB	PCB 77	0,0001
3,4',4,5'-TeCB	PCB 81	0,0003
3,3',4,4',5'-PeCB	PCB 126	0,1
3,3',4,4',5,5'-HxCB	PCB 169	0,03
2,3,3',4,4'-PeCB	PCB 105	0,00003
2,3,4,4',5'-PeCB	PCB 114	0,00003
2,3',4,4',5'-PeCB	PCB 118	0,00003
2',3,4,4',5'-PeCB	PCB 123	0,00003
2,3,3',4,4',5'-HxCB	PCB 156	0,00003
2,3,3',4,4',5'-HxCB	PCB 157	0,00003
2,3',4,4',5,5'-HxCB	PCB 167	0,00003
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	PCB 189	0,00003

Isomerengruppen und Einzelisomere, die nicht nachgewiesen werden, werden bei der Berechnung der "Toxischen Equivalente" mit 50 % der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

3.1.4.2 Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Bei den vorliegenden Probenahmerandbedingungen und der verwendeten Analytik beträgt die Nachweisgrenze in der Regel mindestens:

- ▶ 2,3,7,8-TetraCDD: 0,0005 ng/m³
- ▶ PCB (Einzelsubstanz): 0,0002 ng/m³

Unsicherheitsbereich: ± 15 % am Grenzwert (0,1 ng ITEF/m³)

Qualitätssicherungsmaßnahmen:

Dichtigkeitsprüfung der Probenahmeapparatur, Durchflusskontrolle, Feldblindwert, Bestimmung von Wiederfindungsraten durch Standardzugabe; Akkreditierung

3.1.5 Pentachlorbenzol (PentaCBz) und Hexachlorbenzol (HexaCBz)

3.1.5.1 Analytische Bestimmung

Beschreibung des Analysenverfahrens:

Bestimmung des PCBz-Gehaltes mittels HRGC/ LRMS

Aufarbeitung des Probenmaterials:

Aufarbeitung siehe PCDD/PCDF-Analyse (Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**); die bei der säulenchromatographischen Reinigung erhaltene erste Fraktion enthält die PCB; Zugabe je eines $^{13}\text{C}_6$ -markierter PCBz; Säulenchromatographisches clean-up; Quantifizierung über die internen isotoopenmarkierten PCBz-Standards

Analysengeräte (Hersteller/Typ):	Thermo DSQ (HRGC/ LRMS)
	Trennsäule: 60 m DB-5 MS
Standards:	Auswertung nach Retentionszeiten und Isotopenverhältnis-Vergleich

3.1.5.2 Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Querempfindlichkeiten:	werden durch Probenaufbereitung minimiert
absolute Nachweisgrenze:	0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ je Einzelsubstanz
Unsicherheitsbereich:	ca. 15 %
Qualitätssicherungsmaßnahmen:	siehe 3.1.4.2

3.1.6 Polychlorierte Naphthaline (PCN)

3.1.6.1 Analytische Bestimmung

Beschreibung des Analysenverfahrens:

Bestimmung des PCN-Gehaltes mittels HRGC/ LRMS

Aufarbeitung des Probenmaterials:

Aufarbeitung siehe PCDD/PCDF-Analyse (Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**); die bei der säulenchromatographischen Reinigung erhaltene erste Fraktion enthält die PCN; Zugabe von drei $^{13}\text{C}_{12}$ -markierter PCB; Säulenchromatographisches clean-up; Quantifizierung über die internen isotoopenmarkierten PCB-Standards

Analysengeräte (Hersteller/Typ):	Thermo DSQ (HRGC/ LRMS)
	Trennsäule: 60 m DB-5 MS
Standards:	Auswertung nach Retentionszeiten und Isotopenverhältnis-Vergleich

3.1.6.2 Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Querempfindlichkeiten:	werden durch Probenaufbereitung minimiert
Bestimmungsgrenze:	ca. 0,02 $\mu\text{g}/\text{Probe}$ je PCN entsprechend
ca. 0,003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei 7 m^3 Probevolumen	
Unsicherheitsbereich:	$\pm 15 \%$
Qualitätssicherungsmaßnahmen:	siehe 3.1.4.2

3.1.7 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK nach EPA) (incl. Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k) fluoranthren, Indeno(1,2,3-cd)pyren)

3.1.7.1 Analytische Bestimmung

Variante 1

Beteiligung eines Fremdlabors:	Extraktion durch mas münster analytical solutions gmbh, 48149 Münster	
Reinigung und Analyse durch Müller-BBM		
Beschreibung des Analysenverfahrens:	Bestimmung des PAH-Gehaltes mittels HRGC/MS	
Aufarbeitung des Probenmaterials	Die Extraktion der einzelnen Adsorptionsmedien der o. a. Apparatur erfolgt gemäß EN 1948-2 zusammen mit den PCDD/ PCDF. Die Extraktreinigung erfolgt aus einem Aliquot der kombinierten Rohextrakte mittels säulenchromatographischer Methoden. Die Analyse der erhaltenen Extrakte erfolgt anschließend mit HRGC/ MS.	
Analysengeräte (Hersteller/Typ)	Carlo Erba Instruments VG QMD-1000	
Quantifizierung	Zur Quantifizierung werden vor der Extraktreinigung deuterierte PAH-Standards als interne Standards zugegeben:	
	Naphthalin d ₈	Chrysen d ₁₂
	Acenaphthen d ₈	Perylen d ₁₂
	Phenanthren d ₁₀	

Variante 2

Beteiligung eines Fremdlabors:	nein
Beschreibung des Analysenverfahrens:	GC/MS Isotopenverdünnungsmethode
Aufarbeitung des Probenmaterials:	Ein Teil des Toluol-Extraktes der PCDD/F-Probe wird nach Zugabe des internen Standards an Kieselgel gereinigt
Analysengerät:	GC/MS Thermo Trace GC Ultra/MS ISQ
Hersteller (Typ):	Thermo
Trennsäule:	TG-5MS, Länge 30 m, ID 0,25 mm, Filmdicke 0,25 µm
Standards:	Lösung der 16 PAK als Kalibrierstandard Lösung der 16 PAK deuteriert als interner Standard

3.1.7.2 Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Querempfindlichkeiten:	wird durch Probenaufbereitung minimiert
Bestimmungsgrenze:	ca. 0,005 µg/m ³ (für B(a)P)
Unsicherheitsbereich:	± 15 %
Qualitätssicherungsmaßnahmen:	siehe 3.1.4.2

3.1.8 Polyfluorooctansulfonsäure (PFOS)

3.1.8.1 Messverfahren/VDI-Richtlinien

DIN 38407-F42 / ISO 25101:

Perfluorooctansäure (PFOA)
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)

3.1.8.2 Messobjekte

Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)

3.1.8.3 Messplatzaufbau

Probenahme:

Partikelabscheidung / beheizte Probenahme / zwei
stufige Absorption / Gasprobennehmer DESAGA
GS 212

Entnahmesonde:

Titan, Länge 2,0 m, beheizt auf 190 °C

Partikelfilter:

innenliegender Planfilter, abgasbeheizt

Werkstoff der gasführenden Teile:

Titan, Glas

Ab- / Adsorptionseinrichtung:
sche als Tropfenfänger

zwei Frittenwaschflaschen in Reihe, dritte Waschfla-

Sorptionsmittel:

dest. H₂O

Sorptionsmittelmenge:

30 ml je Frittenflasche

Probegasleitung/Verbindung:

entfällt, direkt an Entnahmesonde angeschlossen

Probenahmesystem

Hersteller / Typ:

Desaga / GS 212

Durchfluss:

ca. 2 l/min

Abstand zwischen Ansaugöffnung
der Entnahmesonde und Sorptionsmittel:

ca. 2,4 m, auf 190 °C beheizter Gasweg

Probentransfer:

in PE-Flaschen

3.1.8.4 Analytische Bestimmung

Beteiligung eines Fremdlabors:
akkreditiertes Prüflaboratorium

AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg,

Beschreibung des Analysenverfahrens:

HPLC-MS/MS

Aufarbeitung des Probenmaterials

Anreicherung der Probe mit ammoniakhaltigem
Methanol mit internem ¹³C₄-PFOS-Standard; Festpha-
senextraktion an schwachem Anionenaustauscher;
die angereicherte Probe wird mittels HPLC-MS/MS
analysiert

Quantifizierung

Zur Quantifizierung werden Standard-Lösungen ver-
wendet.

3.1.8.5 Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Querempfindlichkeiten:	wird durch Probenaufbereitung minimiert
Bestimmungsgrenze:	ca. 0,01 µg/l PFOS entsprechend ca. 0,5 ng/Pr. bei 50 ml Abslsg. bzw. ca. 0,07 mg/m ³ bei 70 l Probevolumen
Unsicherheitsbereich:	± 15 %
Qualitätssicherungsmaßnahmen:	siehe 3.1.4.2

3.1.9 Gasförmige organische Stoffe: Aktivkohleproben/ GCMS**3.1.9.1 Messverfahren**

VDI 2457 Blatt 1:	gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen
DIN EN 13649:	Bestimmung der Massenkonzentration von einzelnen gasförmigen organischen Verbindungen, Aktivkohle-adsorptions- und Lösemitteldesorptionsverfahren

Die Probenahme erfolgt durch Anreicherung auf Aktivkohle. Im Labor werden die Analyten mit Lösemittel desorbiert und mittels Kapillar-GC/MS analysiert.

3.1.9.2 Messobjekte

Benzol, Toluol, Xylol

3.1.9.3 Messplatzaufbau

Entnahmesonde:	Edelstahl, Länge ca. 1,5 m
Partikelfilter:	Quarzwatte in der Ansaugöffnung der Entnahmesonde
Probegasleitung:	entfällt
Werkstoff der gasführenden Teile:	Edelstahl
Ab- / Adsorptionseinrichtung:	Aktivkohle-Sorptionsröhrchen Dräger, Typ G
Sorptionsmittel:	Aktivkohle
Sorptionsmittelmenge:	Adsorptionsschicht 750 mg/Röhrchen, Nachschicht 250 mg/Röhrchen
Aufbau der Probenahmeeinrichtung:	Sonde, Partikelfilter, Aktivkohleröhrchen am Ende der Sonde angeschlossen, Probenahmesystem

Probenahmesystem

Hersteller / Typ:	Desaga / GS 212
Durchfluss:	ca. 2 l/min
Abstand zwischen Ansaugöffnung der Entnahmesonde und Sorptionsmittel:	ca. 2,4 m, auf 190 °C beheizter Gasweg
Probentransfer:	beidseitig verschlossene Röhrchen
Beteiligung eines Fremdlabors:	keine

3.1.9.4 Analytische Bestimmung

Beschreibung des Analysenverfahrens:	Die Analyten werden mit Lösemittel desorbiert. Die Analyse erfolgt mittels Kapillar-GC/MS. Die Auswertung wird nach der Methode des internen Standards (Toluol d8) durchgeführt.
Aufarbeitung des Probenmaterials:	entfällt
Analysengeräte (Hersteller/Typ):	Gaschromatograph (Varian / GC CP 3800, MS Saturn 2200, Autosampler CP 8400) Kapillarsäule (VF-5 MS, 60 m x 0,32 mm, Filmdicke 0,25 µm)
<i>Analysenbedingungen</i>	
GC-Temperaturen:	3 min isotherm bei 40 °C, Aufheizrate 5 °C/min auf 80 °C 6 min halten Aufheizrate 20 °C/min auf 250 °C 5 min halten
Injektor / Interface:	230 °C
Trärgas:	Helium 5.0, 80 kPa
MS-Bedingungen:	SCAN 40...200
Standards:	42,7 µg/ml Toluol d8 als interner Standard, jeweils 2 Konzentrationen der untersuchten Komponenten (z.B.: 44 und 440 µg/ml Benzol)

3.1.9.5 Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Querempfindlichkeiten:	wird durch Probenaufbereitung minimiert (Detektion durch charakteristische Massenfragmente und Retentionszeit); Stellungsisomere (Xylole) werden als Summe angegeben.
absolute Bestimmungsgrenze:	1 µg/Probe
relative Bestimmungsgrenze:	0,1 mg/m ³ bei 30 l Probegasvolumen
Messunsicherheit:	4 % (bestimmt aus Kontrollstandards und Doppelbestimmungen)
Qualitätssicherungsmaßnahmen:	siehe 3.1.4.2

3.1.10 Quecksilber (Hg)

3.1.10.1 Messverfahren

Manuelles Verfahren zur Bestimmung der Gesamtquecksilber-Konzentration; Deutsche Fassung EN 13211:2001, Berichtigungen zu DIN EN 13211:2001-06;

Deutsche Fassung EN 13211:2001/AC:2005 Referenzverfahren: Analytik DIN EN 1483 (08/97)

3.1.10.2 Messplatzaufbau

siehe 3.1.8.3

Absorptionseinrichtung:	zwei Frittenwaschflaschen in Reihe, dritte Waschflasche als Tropfenfänger
Sorptionsmittel:	schwefelsaure KMnO_4 -Lösung
Sorptionsmittelmenge:	2 x 30 ml je Waschflasche
Probentransfer:	ungekühlt in 50-ml-Glas-Flaschen
Datum der Analyse:	innerhalb von 14 Tagen nach der Probenahme
Beteiligung eines Fremdlabors:	keine

3.1.10.3 Analytische Bestimmung

Analysenverfahren:	Bestimmung des Hg-Gehaltes mittels UV-Fotometrie mit Mess- und Referenzstrahl zur Lampenregelung
Aufarbeitung des Probenmaterials:	Neutralisation mit Hydroxylammoniumsulfat Aufschlussverfahren und -geräte
<i>Analysengeräte:</i>	
Bezeichnung:	Quecksilber-Analysator Typ Hg 254/NE, Seefelder Messtechnik, Herst.-Nr. 210 163
Spezifische Kenndaten / Angaben:	Quarzglasküvette, optische Länge 230 mm Lichtquelle: hochfrequenzangeregte Niederdruckentladungslampe, geregelte Leistung, thermostatisiert
Standards:	Kalibrierung mit externem Quecksilberchlorid-Standard

3.1.10.4 Verfahrenskenngrößen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Querempfindlichkeit:	keine
Bestimmungsgrenze: begasvolumen	absolut: 0,13 µg Hg; relativ: 1,3 µg/m ³ bei 100 l Pro-
Messunsicherheit:	gemäß DIN EN 13211 liegt die Wiederholpräzision bei 30 % im Bereich 4...10 µg/m ³ und bei 18 % im Bereich 40...100 µg/m ³ , die Vergleichspräzision bei 62 % im Bereich 4...10 µg/m ³ und bei 36 % im Bereich 40...100 µg/m ³
Qualitätssicherungsmaßnahmen:	siehe 3.1.4.2

4 Betriebsbedingungen, Einzelergebnisse, Messtermine

4.1 Messtermine

In der nachfolgenden Tabelle sind die Termine der jeweiligen Messkampagne aufgeführt:

Tabelle 21. Messtermine an den ausgewählten Anlagen

Anlage	Termin
MVA 3	14./ 16./ 19.08.2013
AVA 1	04./ 05./ 06.09.2013
Krematorium 1	19./ 20.11.2013
KVA 2	13./ 14./ 15.05.2014
Krematorium 2	14./ 15.05.2014
AVA 4	19./ 20./ 21.08.2014
MVA 4	26./ 27./ 28.08.2014
AVA 2	23./ 24./ 25.09.2014
KVA 1	13./ 14./ 15.10.2014
MVA 1	28./ 29./ 30.10.2014
Krematorium 3	09./ 10.12.2014 und 05.03.2015
MVA 2	16./ 17./ 18.12.2014
AVA 3	21./ 22./ 23.04.2015
KVA4	27./ 28./ 29.05.2015
Krematorium 4	30.06./ 01.07.2015
KVA3	13./ 14./ 15.07.2015

4.2 Betriebsbedingungen und Messergebnisse

In den nachfolgenden Abschnitten werden die für den Messzeitraum ermittelten Betriebsbedingungen und die ermittelten Messergebnisse dargestellt.

Erfahrungsgemäß sind die Emissionskonzentrationen von Schadstoffkomponenten bei den meisten Anlagen, an welchen umfangreiche Abgasreinigung betrieben wird, auf einem stoffspezifisch niedrigen und gleichmäßigen Niveau. Schadstoffe die in Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze emittiert werden, werden nachfolgend nicht näher betrachtet, da diesbezüglich keine Rückschlüsse auf das Emissionsverhalten der einzelnen Anlage getroffen werden können.

Sofern nicht anders angegeben, werden die Konzentrationen bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Die schadstoffspezifischen Emissionen der vier Anlagenkategorien werden dann im Abschnitt 4 zusammenfassend dargestellt.

4.2.1 MVA 1 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 22. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – MVA 1

Messtag / Zeitraum	28.10.14 07:30-14:30	29.10.14 07:30-15:00	30.10.14 07:30-14:00
Brennstoffmengen			
Müll	35 t/h	35 t/h	35 t/h
Klärschlamm (TS)	0 t/h	0 t/h	0 t/h
Erdgas	0 m³/h	0 m³/h	0 m³/h
Dampfleistung	ca. 90 t/h	ca. 90 t/h	ca. 90 t/h
Temperatur Nachbrennzone	990 ... 1030 °C	970 ... 1030	990 ... 1040
Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb	keine	keine	keine
Betriebstemperaturen			
vor E-Filter	222 °C	222 °C	222 °C
nach Wärmetauscher	190 °C	190 °C	190 °C
nach Wäscher	65 °C	65 °C	65 °C
nach REGAVO	240 °C	240 °C	240 °C
SCR-Katalysator	260 °C	260 °C	260 °C
Gewebefilter	120 °C	120 °C	120 °C
Einstellung E-Filter	50 kV	50 kV	50 kV
NH ₃ -Dosierung SCR	3 ... 15 kg/h	5 ... 20 kg/h	5 ... 20 kg/h
NO _x -Sollwert im Reingas für NH ₃ -Regelung	120 mg/m³ NO ₂	120 mg/m³ NO ₂	120 mg/m³ NO ₂
Adsorbensdosierung			
Frischadsorbens	60 kg/h	60 kg/h	60 kg/h
Umlaufadsorbens	300 kg/h	300 kg/h	300 kg/h
TMT 15-Dosierung			
Frischabsorbens	0,9 Liter/h	0,9 Liter/h	0,9 Liter/h
Umlauf Waschflüssigkeit			
Vorwäscher	180 m³/h	180 m³/h	180 m³/h
Hauptwäscher	650 m³/h	650 m³/h	650 m³/h
pH-Wert			
Vorwäscher	1,5	1,5	1,5
Hauptwäscher	6,5	6,5	6,5
Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb	keine	keine	keine

*) Basis: 10-min-Mittelwerte laut Betriebsmessung

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 23. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – MVA 1

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m ³]	0,015	0,030	0,010	0,02	0,02
Xylole	[mg/m ³]	0,015	0,010	0,010	0,01	0,01
Toluol	[mg/m ³]	0,070	0,050	0,010	0,04	0,05
HexaCBz	[µg/m ³]	0,004	0,008	0,007	0,006	0,007
PentaCBz	[µg/m ³]	0,019	0,046	0,049	0,04	0,05
PFOS	[µg/m ³]	0,034	0,019	0,018	0,02	0,02
PCN	[µg/m ³]	0,020	0,206	0,022	0,021	0,021
BbF	[µg/m ³]	0,0015	0,1715	0,0020	0,002	0,002
BkF	[µg/m ³]	0,0015	0,1715	0,0020	0,002	0,002
BaP	[µg/m ³]	0,0015	0,0170	0,0020	0,002	0,002
I123P	[µg/m ³]	0,0015	0,1715	0,0020	0,002	0,002
PAK (EPA)	[µg/m ³]	0,126	11,262	0,152	0,14	0,14
PCDD/F (TEF)	[ng/m ³]	0,010	0,011	0,009	0,0100	0,0100
PCB (TEF)	[ng/m ³]	0,00020	0,00020	0,00100	0,00047	0,00020

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 24. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – MVA 1

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	2,81	5,66	1,79	3,42	2,81
Xylole	[g/h]	2,81	1,90	1,79	2,17	1,90
Toluol	[g/h]	11,27	8,32	1,79	7,13	8,32
HexaCBz	[mg/h]	0,76	1,60	1,32	1,227	1,320
PentaCBz	[mg/h]	3,71	8,71	9,38	7,27	8,71
PFOS	[mg/h]	6,67	3,65	3,34	4,55	3,65
PCN	[mg/h]	3,94	38,97	4,04	3,988	3,988
BbF	[mg/h]	0,28	27,83	0,29	0,285	0,285
BkF	[mg/h]	0,28	27,83	0,29	0,285	0,285
BaP	[mg/h]	0,28	2,79	0,29	0,285	0,285
I123P	[mg/h]	0,28	27,83	0,29	0,285	0,285
PAK (EPA)	[mg/h]	20,9	1825,8	24,2	22,56	22,56
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	1,69	1,77	1,45	1,6367	1,6900
PCB (TEF)	[µg/h]	0,040	0,040	0,090	0,0567	0,0400

Anmerkung: Die in den vorstehenden beiden Tabellen rot gekennzeichneten deutlich höheren Ergebnisse der Messung 2 (PCN, BbF, BkF, BaP, I123P und PAK) beruhen auf deutlich höheren Bestimmungsgrenzen die durch Matrixeffekte bei der Analyse zustande kamen. Die Werte wurden bei der Mittelwertbildung und bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

4.2.2 MVA 2 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 25. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – MVA 2

Messtag / Zeitraum	16.12.2014 09:00 – 15:00 Uhr	17.12.2014 09:00 – 15:00 Uhr	18.12.2014 09:00 – 15:00 Uhr
Brennstoffmengen			
Müll	8,63 t/h	9,60 t/h	10,58 t/h
Heizöl EL	< 2 kg/h	< 2 kg/h	< 2 kg/h
Dampfleistung	34,71 t/h	35,10 t/h	35,98 t/h
Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb	keine	keine	keine
NH ₄ OH vor Verdampfer	17,79 kg/h	16,65 kg/h	17,36 kg/h
pH-Wert SO ₂ -Wäscher-Sumpf	5,01	5,06	5,09
Ausschleusung Rohsäure	663,3 kg/h	597,3 kg/h	500,1 kg/h
Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb	keine	keine	keine

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 26. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – MVA 2

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,020	0,020	0,020	0,02	0,02
Xylole	[mg/m³]	0,020	0,020	0,020	0,02	0,02
Toluol	[mg/m³]	0,02	0,020	0,020	0,02	0,02
HexaCBz	[µg/m³]	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
PentaCBz	[µg/m³]	0,001	0,001	0,001	0,00	0,00
PFOS	[µg/m³]	0,010	0,010	0,010	0,01	0,01
PCN	[µg/m³]	0,024	0,024	0,023	0,024	0,024
BbF	[µg/m³]	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
BkF	[µg/m³]	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
BaP	[µg/m³]	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
I123P	[µg/m³]	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,116	0,116	0,117	0,12	0,12
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,0005	0,0047	0,0005	0,0019	0,0005
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,00020	0,00020	0,00020	0,00020	0,00020

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 27. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – MVA 2

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	1,065	1,035	1,080	1,06	1,07
Xylole	[g/h]	1,065	1,035	1,080	1,06	1,07
Toluol	[g/h]	1,065	1,035	1,080	1,06	1,07
HexaCBz	[mg/h]	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
PentaCBz	[mg/h]	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
PFOS	[mg/h]	0,500	0,505	0,495	0,50	0,50
PCN	[mg/h]	1,18	1,175	1,155	1,170	1,175
BbF	[mg/h]	0,085	0,085	0,085	0,0850	0,0850
BkF	[mg/h]	0,085	0,085	0,085	0,0850	0,0850
BaP	[mg/h]	0,085	0,085	0,085	0,0850	0,0850
I123P	[mg/h]	0,085	0,085	0,085	0,0850	0,0850
PAK (EPA)	[mg/h]	5,60	5,60	5,90	5,70	5,60
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,03	0,2	0,03	0,0867	0,0300
PCB (TEF)	[µg/h]	0,01000	0,01000	0,01000	0,0100	0,0100

4.2.3 MVA 3 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 28. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – MVA 3

Messung Nr.		1	2	3
Datum		14.08.2013	16.08.2013	19.08.2013
Mülldurchsatz ¹⁾	t/h	6,1	6,2	5,7
Dampfmassenstrom	t/h	23,3	23,1	23,7
Feuerraumtemperatur	°C	1060	1038	1067
Betriebs-/Sickerwasser	m³/h	0,15	0,40	0,01
Bicarbonat-Zusatzmenge	kg/h	0,0	0,0	3,1
NH ₄ OH (SCR-Anlage)	l/h	14,6	14,2	15,5
NH ₄ OH (SNCR-Anlage)	l/h	0,0	0,0	0,0
Aktivkohlemenge	kg/h	2,1	2,2	2,1
Differenzdruck Gewebefilter	mbar	24,0	24,9	23,5
Erdgasverbrauch	Nm³/h	0,0	0,0	0,0
Bicarbonatverbrauch	kg/h	98	95	132
Temperatur nach Sprühabsorber	°C	204	205	214

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 29. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – MVA 3

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,010	0,010	0,010	0,01	0,01
Xylole	[mg/m³]	0,010	0,010	0,010	0,01	0,01
Toluol	[mg/m³]	0,01	0,010	0,010	0,01	0,01
HexaCBz	[µg/m³]	0,023	0,028	0,042	0,031	0,028
PentaCBz	[µg/m³]	0,1	0,134	0,192	0,14	0,13
PFOS	[µg/m³]	0,004	0,004	0,008	0,01	0,00
PCN	[µg/m³]	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
BbF	[µg/m³]	0,0040	0,0050	0,0040	0,0043	0,0040
BkF	[µg/m³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
BaP	[µg/m³]	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
I123P	[µg/m³]	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,277	0,363	0,304	0,31	0,30
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,001	0,001	0,001	0,0010	0,0010
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,00020	0,00020	0,00020	0,00020	0,00020

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 30. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – MVA 3

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,475	0,475	0,440	0,46	0,48
Xylol	[g/h]	0,475	0,475	0,440	0,46	0,48
Toluol	[g/h]	0,475	0,475	0,440	0,46	0,48
HexaCBz	[mg/h]	0,99	1,23	1,78	1,33	1,23
PentaCBz	[mg/h]	4,27	5,86	8,05	6,06	5,86
PFOS	[mg/h]	0,18	0,18	0,33	0,23	0,18
PCN	[mg/h]	0,72	0,76	0,72	0,730	0,720
BbF	[mg/h]	0,150	0,200	0,150	0,167	0,150
BkF	[mg/h]	0,050	0,055	0,050	0,052	0,050
BaP	[mg/h]	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
I123P	[mg/h]	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
PAK (EPA)	[mg/h]	11,78	15,93	12,78	13,50	12,78
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04
PCB (TEF)	[µg/h]	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

4.2.4 MVA 4 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 31. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – MVA 4

Messung Nr.		1	2	3
Datum		26.08.2014	27.08.2014	28.08.2014
Dampfmassenstrom	t/h	66	68	68
Primärluftmenge	m³/h	53005	50104	52388
Sekundärluftmenge	m³/h	19616	20000	20000
Abgasvolumenstrom	m³/h	193047	186519	190183
NH ₄ OH (SNCR-Anlage)	l/h	34,6	28,6	37,0
HOK-Dosierung	kg/h	6,33	4,86	4,80
Kalk-Dosierung	kg/h	160,1	241,2	294,2
Brantkalk-Dosierung	kg/h	450,0	400,0	400,0

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 32. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – MVA 4

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,020	0,020	0,015	0,018	0,020
Xylole	[mg/m³]	0,020	0,020	0,015	0,018	0,020
Toluol	[mg/m³]	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
HexaCBz	[µg/m³]	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002
PentaCBz	[µg/m³]	0,005	0,016	0,006	0,009	0,006
PFOS	[µg/m³]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
PCN	[µg/m³]	0,018	0,019	0,019	0,019	0,019
BbF	[µg/m³]	0,0010	0,0015	0,0015	0,0013	0,0015
BkF	[µg/m³]	0,0010	0,0015	0,0015	0,0013	0,0015
BaP	[µg/m³]	0,0010	0,0015	0,0015	0,0013	0,0015
I123P	[µg/m³]	0,0010	0,0015	0,0015	0,0013	0,0015
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,087	0,097	0,094	0,093	0,094
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,0100	0,0130	0,0130	0,0120	0,0130
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 33. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – MVA 4

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	1,61	1,79	1,52	1,64	1,61
Xylole	[g/h]	1,61	1,79	1,52	1,64	1,61
Toluol	[g/h]	3,86	3,58	3,62	3,69	3,62
HexaCBz	[mg/h]	0,210	0,250	0,170	0,210	0,210
PentaCBz	[mg/h]	0,460	1,390	0,520	0,79	0,52
PFOS	[mg/h]	0,43	0,42	0,42	0,42	0,42
PCN	[mg/h]	1,55	1,65	1,66	1,62	1,65
BbF	[mg/h]	0,110	0,120	0,120	0,117	0,120
BkF	[mg/h]	0,110	0,120	0,120	0,117	0,120
BaP	[mg/h]	0,110	0,120	0,120	0,117	0,120
I123P	[mg/h]	0,110	0,120	0,120	0,117	0,120
PAK (EPA)	[mg/h]	7,70	8,30	8,24	8,08	8,24
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,85	1,15	1,10	1,0333	1,1000
PCB (TEF)	[µg/h]	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600

4.2.5 KVA 1 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 34. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – KVA 1

Datum		13.10.2014	14.10.2014	15.10.2014
Messzeitraum		11:27 - 17:27 Uhr	09:15 - 15:15 Uhr	09:30 - 15:30 Uhr
Entsorgungssollwert Klärschlamm (TS)	kg/h	2.750	2.700	2.700
Klärschlammdurchsatz (TS)	kg/h	ca. 2.700	ca. 2.700	ca. 2.700
Wirbelschicht - Kopftemperatur	°C	> 850	> 850	> 850
Dampfmenge	t/h	ca. 7,0	ca. 7,1	ca. 7,2
Adsorbensdosie- Zugabe (frisch) rung	kg/h	ca. 24 kg/h	ca. 24 kg/h	ca. 24 kg/h
Kreislauf	kg/h	ca. 80 kg/h	ca. 80 kg/h	ca. 80 kg/h
Kalksteinmehlverbrauch	kg/h	ca. 35 kg/h	ca. 35 kg/h	ca. 35 kg/h
TMT-15 Dosierung	l/h	ca. 0,5	ca. 0,5	ca. 0,5
pH-Wert Quenche		ca. 6,2	ca. 6,1	ca. 5,9
pH-Wert Absorber		ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 6,9
Differenzdruck Gewebefilter	hPa	14	15	15
Einstellung Trocken E-Filter	kV	38	37	38
	mA	180	179	178
Einstellung Nass-E-Filter	kV	44	45	46
	mA	130	55	80
Ammoniakwasserverbrauch	l/h	-	-	-

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 35. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – KVA 1

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02
Xylole	[mg/m³]	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02
Toluol	[mg/m³]	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02
HexaCBz	[µg/m³]	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
PentaCBz	[µg/m³]	0,0005	0,0005	0,0005	0,00	0,00
PFOS	[µg/m³]	0,020	0,021	0,020	0,02	0,02
PCN	[µg/m³]	0,0125	0,012	0,012	0,012	0,012
BbF	[µg/m³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
BkF	[µg/m³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
BaP	[µg/m³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
I123P	[µg/m³]	0,001	0,001	0,001	0,0010	0,0010
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,195	0,187	0,177	0,19	0,19
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,00010	0,00010	0,00010	0,00010	0,00010

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 36. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – KVA 1

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,23	0,23	0,22	0,22	0,23
Xylole	[g/h]	0,23	0,23	0,22	0,22	0,23
Toluol	[g/h]	0,23	0,23	0,22	0,22	0,23
HexaCBz	[mg/h]	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
PentaCBz	[mg/h]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PFOS	[mg/h]	0,37	0,39	0,38	0,38	0,38
PCN	[mg/h]	0,23	0,23	0,23	0,230	0,230
BbF	[mg/h]	0,015	0,015	0,015	0,0150	0,0150
BkF	[mg/h]	0,015	0,015	0,015	0,0150	0,0150
BaP	[mg/h]	0,015	0,015	0,015	0,0150	0,0150
I123P	[mg/h]	0,015	0,015	0,015	0,0150	0,0150
PAK (EPA)	[mg/h]	2,86	2,75	2,62	2,74	2,75
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,01	0,01	0,01	0,0100	0,0100
PCB (TEF)	[µg/h]	0,002	0,002	0,002	0,0020	0,0020

4.2.6 KVA 2 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 37. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – KVA 2

Messtag / Zeitraum	13.05.2014 09:54 - 16:51 Uhr	14.05.2014 09:12 - 15:12 Uhr	15.05.2014 08:22 - 13:22 Uhr
Brennstoffeinsatz Klärschlamm aus Eigentrocknung	ca. 2,5 ... 3,0 t/h (75 % TS) pro Linie	ca. 2,5 ... 3,0 t/h (75 % TS) pro Linie	ca. 2,5 ... 3,0 t/h (75 % TS) pro Linie
Erdgas	---	---	---
Nutzwärmeleistung			
Ofen 1	3,1 ... 3,2 MW	3,2 ... 3,3 MW	3,2 ... 3,3 MW
Ofen 2	3,3 ... 3,5 MW	3,4 ... 3,5 MW	3,5 MW
Frequenz Brennstoffdosierschnecke			
Ofen 1	21 Hz	22 Hz	26 Hz
Ofen 2	24 Hz	26 Hz	29 Hz
Temperatur Nachbrennzone			
Ofen 1	879 ... 893 °C	879 ... 885 °C	876 ... 886 °C
Ofen 2	879 ... 896 °C	880 ... 895 °C	888 ... 896 °C
Temperatur Wärmeübertragungsöl			
Ofen 1	299 ... 301 °C	300 ... 301 °C	298 °C
Ofen 2	300 ... 302 °C	300 ... 302 °C	298 ... 299 °C
Betriebstemperaturen			
vor Zyklon	310 ... 311 °C	309 ... 310 °C	307 ... 309 °C
nach Sprühtrockner	180 °C	179 ... 180 °C	180 °C
nach Gewebefilter und Wärmetauscher	120 ... 121 °C	119 ... 120 °C	121 ... 122 °C
nach Strahlwäscher	65 ... 66 °C	65 ... 66 °C	68 °C
nach Füllkörperkolonne	≤ 66 °C	≤ 65 °C	≤ 68 °C
nach Wärmetauscher	116 °C	115 ... 116 °C	117 °C
Wasserdurchfluss			
Sprühtrockner	1,62 ... 1,70 m³/h	1,61 ... 1,69 m³/h	1,67 ... 1,73 m³/h
Strahlwäscher	177 ... 184 m³/h	178 ... 180 m³/h	173 ... 182 m³/h
Füllkörperkolonne	103 ... 107 m³/h	102 ... 107 m³/h	103 ... 107 m³/h
pH-Wert			
Füllkörperkolonne	7,2	7,2	7,2
Neutralisationsbehälter	7,0	6,8	6,7
Diff.-druck Gewebefilter	11,2 ... 13,5 mbar	11,8 ... 13,0 mbar	12,6 ... 12,9 mbar
Verbrauch wässriger Harnstofflösung			
Ofen 1	0,0 l/h	0,0 l/h	0,0 l/h
Ofen 2	0,0 l/h	0,0 l/h	0,0 l/h
Adsorbensdosierung	1,8 g pro Bm³ Rauchgas (90 % Weißkalkhydrat, 10 % HOK)		
Frequenz Dosierschnecke	15 Hz	15 Hz	15 Hz
Rauchgasmenge [Bm³/h]	48.000 ... 49.000	47.000 ... 48.000	48.000 ... 49.000

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 38. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – KVA 2

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m ³]	0,015	0,020	0,015	0,02	0,02
Xylole	[mg/m ³]	0,015	0,020	0,015	0,02	0,02
Toluol	[mg/m ³]	0,015	0,020	0,015	0,02	0,02
HexaCBz	[µg/m ³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
PentaCBz	[µg/m ³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
PFOS	[µg/m ³]	0,022	0,023	0,018	0,02	0,02
PCN	[µg/m ³]	0,027	0,0275	0,0255	0,027	0,027
BbF	[µg/m ³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
BkF	[µg/m ³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
BaP	[µg/m ³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
I123P	[µg/m ³]	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
PAK (EPA)	[µg/m ³]	0,47	0,64	0,42	0,51	0,47
PCDD/F (TEF)	[ng/m ³]	0,00058	0,00059	0,00027	0,00048	0,00058
PCB (TEF)	[ng/m ³]	0,00012	0,00013	0,00012	0,00012	0,00012

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 39. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – KVA 2

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,25	0,36	0,27	0,29	0,27
Xylole	[g/h]	0,25	0,36	0,27	0,29	0,27
Toluol	[g/h]	0,25	0,36	0,27	0,29	0,27
HexaCBz	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
PentaCBz	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
PFOS	[mg/h]	0,440	0,465	0,375	0,43	0,44
PCN	[mg/h]	0,535	0,555	0,54	0,543	0,540
BbF	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,0200	0,0200
BkF	[mg/h]	0,02	0,02	0,02	0,0200	0,0200
BaP	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,0200	0,0200
I123P	[mg/h]	0,04	0,04	0,04	0,0400	0,0400
PAK (EPA)	[mg/h]	9,3	12,8	8,9	10,3	9,3
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,010	0,010	0,005	0,008	0,010
PCB (TEF)	[µg/h]	0,0025	0,0050	0,0025	0,0033	0,0025

4.2.7 KVA 3 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 40. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – KVA 3

Datum		13.07.2015	14.07.2015	15.07.2015
Messzeitraum		10:00 – 16:00 Uhr	09:30 - 15:30 Uhr	09:30 - 15:30 Uhr
Klärschlammdurchsatz (TS) - Soll	kg/h	3200	3200	3200
Klärschlammdurchsatz (TS) - Ist	kg/h	3000	2800	3500
Dampfmenge	t/h	8,5	8,6	8,8
Wirbelschicht – Betttemperatur oben	°C	708 ... 810	711 ... 784	747 ... 765
Wirbelschicht – Ofentemperatur oben	°C	812 ... 860	843 ... 876	851 ... 862
Abgasvolumenstrom	Nm³/h	ca. 24000	ca. 24000	ca. 25500
Kalkmilchzugabe	m³/h	1,3 ... 1,9	1,1 ... 1,25	1,2 ... 1,4
pH-Wert im Wäscher	pH	5,4 ... 5,9	5,4 ... 5,8	5,7 ... 5,8
Aktivkohle-Zugabe	l/h	6 ... 20	6 ... 20	6 ... 20

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 41. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – KVA 3

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,030	0,020	0,015	0,02	0,02
Xylole	[mg/m³]	0,030	0,020	0,015	0,02	0,02
Toluol	[mg/m³]	0,03	0,020	0,015	0,02	0,02
HexaCBz	[µg/m³]	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
PentaCBz	[µg/m³]	0,0015	0,001	0,001	0,00	0,00
PFOS	[µg/m³]	0,018	0,018	0,017	0,02	0,02
PCN	[µg/m³]	0,0355	0,031	0,0295	0,032	0,031
BbF	[µg/m³]	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
BkF	[µg/m³]	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
BaP	[µg/m³]	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
I123P	[µg/m³]	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,277	0,261	0,393	0,31	0,28
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,001	0,001	0,001	0,0010	0,0010
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,00030	0,00030	0,00030	0,00030	0,00030

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 42. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – KVA 3

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,25	0,36	0,27	0,29	0,27
Xylole	[g/h]	0,25	0,36	0,27	0,29	0,27
Toluol	[g/h]	0,25	0,36	0,27	0,29	0,27
HexaCBz	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
PentaCBz	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
PFOS	[mg/h]	0,440	0,465	0,375	0,43	0,44
PCN	[mg/h]	0,535	0,555	0,54	0,543	0,540
BbF	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,0200	0,0200
BkF	[mg/h]	0,02	0,02	0,02	0,0200	0,0200
BaP	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,0200	0,0200
I123P	[mg/h]	0,04	0,04	0,04	0,0400	0,0400
PAK (EPA)	[mg/h]	9,3	12,8	8,9	10,3	9,3
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,010	0,010	0,005	0,008	0,010
PCB (TEF)	[µg/h]	0,0025	0,0050	0,0025	0,0033	0,0025

4.2.8 KVA 4 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 43. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – KVA 4

		27.05.2015	28.05.2015	29.05.2015
Dampfmenge	t/h	ca. 12,5	ca. 12,0	ca. 12,0
Input Dünnschlamm	m³/h	ca. 70	ca. 85	ca. 85
Brennstoffe		Schlamm	Schlamm	Schlamm
Faulgas	Nm³/h	ca. 200	ca. 300	ca. 300
Öl	l/h	0 - 250	0 – 70	0 – 50
Elektrofilter 1	mA	ca. 165	ca. 160	ca. 160
Elektrofilter 2	mA	200	200	200
Sprühtrockner	°C	80	90	90
Leitfähigkeit Wäscher 1	mS/cm	ca. 2	< 2	ca. 2
pH-Wert Wäscher 2	pH	7–8	7–8	7–8

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 44. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – KVA 4

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,010	0,010	0,010	0,01	0,01
Xylole	[mg/m³]	0,010	0,010	0,010	0,01	0,01
Toluol	[mg/m³]	0,010	0,010	0,010	0,01	0,01
HexaCBz	[µg/m³]	0,0010	0,0005	0,0010	0,001	0,001
PentaCBz	[µg/m³]	0,0010	0,0005	0,0010	0,00	0,00
PFOS	[µg/m³]	0,023	0,021	0,022	0,02	0,02
PCN	[µg/m³]	0,026	0,022	0,024	0,024	0,024
BbF	[µg/m³]	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
BkF	[µg/m³]	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
BaP	[µg/m³]	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
I123P	[µg/m³]	0,002	0,002	0,002	0,0020	0,0020
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,001	0,001	0,001	0,0010	0,0010
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 45. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – KVA 4

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Xylole	[g/h]	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Toluol	[g/h]	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
HexaCBz	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
PentaCBz	[mg/h]	0,020	0,020	0,020	0,02	0,02
PFOS	[mg/h]	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55
PCN	[mg/h]	0,61	0,58	0,60	0,60	0,60
BbF	[mg/h]	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
BkF	[mg/h]	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
BaP	[mg/h]	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
I123P	[mg/h]	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
PAK (EPA)	[mg/h]	4,21	4,22	4,32	4,25	4,22
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,01	0,02	0,02	0,0167	0,0200
PCB (TEF)	[µg/h]	0,0025	0,0025	0,0050	0,0033	0,0025

4.2.9 AVA 1 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 46. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – AVA 1

Messtag		04.09.2013	05.09.2013	06.09.2013
Dampfmenge	[t/h]	47...48	45...48	47...49
Dampfdruck	[bar]	59...60	59...60	59...60
Dampftemperatur	[°C]	450...455	448...453	450...452
Temperatur Nachbrennzone	[°C]	859...862	856...860	856...863
Unterdruck Wirbelschicht	[mbar]	-3...-4	-3...-4	-4...-6
Temperatur Wirbelschicht	[°C]	768...774	772...773	766...777
Wirbelgasluft	[Nm³/h]	39.000...41.000	40.000...41.000	39.000...40.000
Primärluft	[Nm³/h]	21.000...24.000	20.000...21.000	20.000...21.000
Sekundärluft	[Nm³/h]	5.500...8.000	7.000...8.500	6.500...7.500
Reziluft	[Nm³/h]	16.000...19.000	19.000...21.000	19.000...20.000
Feuerungswärmeleistung	[MW]	39,9...40,2	40,0...40,3	39,9...40,3
Holzdurchsatz	[t/h]	ca. 15	ca. 14,5	ca. 15
Heizwert Brennstoff	[MJ/kg]	10,3	11,3	10,6
Turbinenleistung	[MW]	10,8...10,9	10,5...10,7	10,8...11,0
Temp. vor Gewebefilter	[°C]	166...170	167...169	173...174
Differenzdruck Gewebefilter	[mbar]	18...21	18...20	19...20
Frequenz Dosierschnecke / Additivzugabe (Dioxorb) *)	% / kg/h	7 / 17,5	6 / 15	6 / 15

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 47. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – AVA 1

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,010	0,005	0,005	0,01	0,01
Xylole	[mg/m³]	0,010	0,005	0,005	0,01	0,01
Toluol	[mg/m³]	0,01	0,005	0,005	0,01	0,01
HexaCBz	[µg/m³]	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
PentaCBz	[µg/m³]	0,002	0,003	0,003	0,00	0,00
PFOS	[µg/m³]	0,012	0,013	0,015	0,01	0,01
PCN	[µg/m³]	0,0095	0,009	0,009	0,009	0,009
BbF	[µg/m³]	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
BkF	[µg/m³]	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
BaP	[µg/m³]	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
I123P	[µg/m³]	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,094	0,088	0,168	0,12	0,09
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,006	0,006	0,006	0,0060	0,0060
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 48. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – AVA 1

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,630	0,520	0,460	0,54	0,52
Xylole	[g/h]	0,630	0,520	0,460	0,54	0,52
Toluol	[g/h]	0,63	0,520	0,460	0,54	0,52
HexaCBz	[mg/h]	0,070	0,070	0,080	0,073	0,070
PentaCBz	[mg/h]	0,18	0,21	0,23	0,21	0,21
PFOS	[mg/h]	0,840	0,950	1,100	0,96	0,95
PCN	[mg/h]	0,695	0,675	0,65	0,673	0,675
BbF	[mg/h]	0,025	0,025	0,025	0,0250	0,0250
BkF	[mg/h]	0,025	0,025	0,025	0,0250	0,0250
BaP	[mg/h]	0,025	0,025	0,025	0,0250	0,0250
I123P	[mg/h]	0,025	0,025	0,025	0,0250	0,0250
PAK (EPA)	[mg/h]	7,040	6,520	12,500	8,69	7,04
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,46	0,44	0,44	0,4467	0,4400
PCB (TEF)	[µg/h]	0,00500	0,00500	0,00500	0,0050	0,0050

4.2.10 AVA 2 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 49. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – AVA 2

Messtag		22.09.2014 10:00 – 16:00 Uhr	24.09.2014 08:15 – 14:15 Uhr	25.09.2014 08:45 – 14:45 Uhr
Dampfmenge Kessel 2/ Kessel 3	[t/h]	52,0/ 55,0	48,1/ 41,9	50,5/ 42,7
max. Dampfmenge je Kessel	[t/h]	50,0 je Kessel	50,0 je Kessel	50,0 je Kessel
Auslastung	[%]	107	90	93
Holzdurchsatz Kessel 2/ Kessel 3	[t/h]	12,2/ 12,9	11,3/ 12,5	12,3/ 12,7
Harnstoffmenge Kessel 2/ Kessel 3	[kg/h]	55,0/ 51,2	41,9/ 35,0	42,7/ 60,3
Kalkdosierung mit max. 30 % HOK	[l/h]	44	63	59
Differenzdruck Gewebefilter	[mbar]	29,3	34,2	34,9

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

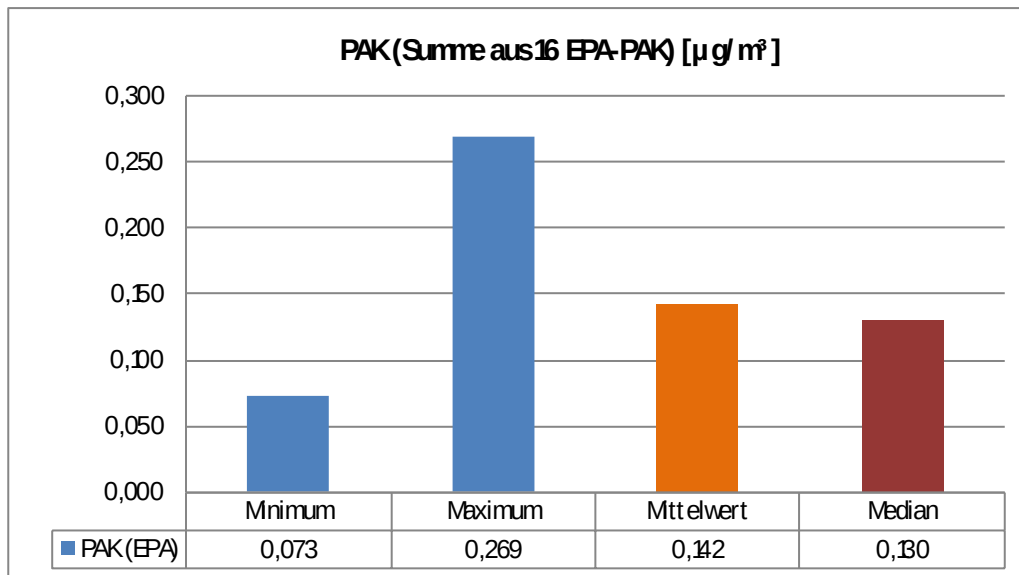
Tabelle 50. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – AVA 2

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m ³]	0,005	0,010	0,010	0,01	0,01
Xylole	[mg/m ³]	0,005	0,010	0,010	0,01	0,01
Toluol	[mg/m ³]	0,005	0,010	0,010	0,01	0,01
HexaCBz	[µg/m ³]	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
PentaCBz	[µg/m ³]	0,0005	0,0005	0,0005	0,00	0,00
PFOS	[µg/m ³]	0,011	0,018	0,021	0,02	0,02
PCN	[µg/m ³]	0,012	0,013	0,0145	0,013	0,013
BbF	[µg/m ³]	0,0030	0,0010	0,0010	0,0017	0,0010
BkF	[µg/m ³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
BaP	[µg/m ³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
I123P	[µg/m ³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
PAK (EPA)	[µg/m ³]	0,177	0,120	0,073	0,12	0,12
PCDD/F (TEF)	[ng/m ³]	0,004	0,011	0,009	0,0080	0,0090
PCB (TEF)	[ng/m ³]	0,00100	0,00010	0,00010	0,00040	0,00010

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Die PAK-Emissionskonzentrationen haben von der ersten zu dritten Messung eine abnehmende Tendenz. Die Ursache hierfür ist nicht eindeutig. Auffallend ist, dass zeitgleich auch die dioxinähnlichen PCB eine etwas höhere Emissionskonzentration aufwiesen.

Sehr augenscheinlich wird das Ergebnis am Beispiel des Benzo-b-fluoranthens (BbF), das in dem Summenwert der PAKs enthalten ist. Die Abbildung 44: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK



Im Abgas der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen wurden PAK-Konzentrationen (Summe aus 16 EPA-PAK) im Bereich zwischen 0,073 µg/m³ und 0,269 µg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,142 µg/m³ und der Median 0,130 µg/m³. In allen der zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 45 zeigt für die Messung 1 eine deutlich erhöhte BbF-Konzentration. Allerdings täuscht die Abbildung etwas, denn bei den weiteren Messungen wird das dargestellte Ergebnis mit 50 % der Bestimmungsgrenze gerechnet. Ausgehend von der Annahme, dass bei der zweiten Messung möglicherweise eine Konzentration knapp unter der Bestimmungsgrenze vorlag, würde dieser Unterschied nicht mehr so ausgeprägt erscheinen.

Tabelle 51. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – AVA 2

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	1,295	1,630	1,705	1,54	1,63
Xylol	[g/h]	1,295	1,630	1,705	1,54	1,63
Toluol	[g/h]	1,295	1,630	1,705	1,54	1,63
HexaCBz	[mg/h]	0,075	0,085	0,090	0,083	0,085
PentaCBz	[mg/h]	0,075	0,085	0,09	0,08	0,09
PFOS	[mg/h]	2,015	3,370	3,535	2,97	3,37
PCN	[mg/h]	2,17	2,395	2,47	2,345	2,395
BbF	[mg/h]	0,4600	0,1700	0,1750	0,2683	0,1750
BkF	[mg/h]	0,1550	0,1700	0,1750	0,1667	0,1700

BaP	[mg/h]	0,1550	0,1550	0,1700	0,1600	0,1550
I123P	[mg/h]	0,1550	0,1700	0,1750	0,1667	0,1700
PAK (EPA)	[mg/h]	32,370	22,430	12,620	22,47	22,43
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,72	1,97	1,59	1,4267	1,5900
PCB (TEF)	[µg/h]	0,16000	0,02000	0,02000	0,0667	0,0200

4.2.11 AVA 3 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 52. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – AVA 3

		21.04.2015 09:00 - 15:30 Uhr	22.04.2015 09:00 - 15:30 Uhr	23.04.2015 08:30 - 15:00 Uhr
Brennstoff				
Brennstoffart		Altholz A III / 10 - 15 % Altholz aus Sperrmüll		
Brennstoffmenge	t/h	ca. 5 - 6 t/h	ca. 5 - 6 t/h	ca. 5 - 6 t/h
Dampfmenge	t/h	22,8 - 23,7	22,6 - 23,5	22,5 - 23,1
Dampfdruck	bar	46,9 - 48,0	48,0 - 48,2	47,9 - 48,1
Dampftemperatur	°C	432 - 434	433 - 436	433 - 434
Turbinenleistung	MW	4,8 - 4,9	4,8 - 5,0	4,8 - 5,0
Feuerraumtemperatur	°C	1.116 - 1.159	1.123 - 1.141	1.206 - 1.214
Primärluftmenge	m³/h	13.500 - 14.500	15.000 - 15.500	14.500 - 15.500
Sekundärluftmenge	m³/h	9.500 - 13.500	8.500 - 11.500	6.000 - 7.500
Reziluftmenge	m³/h	9.000 - 10.000	10.000 - 11.000	10.000 - 11.000
Stützbrennerbetrieb		nein	nein	nein
Rußblasen im Messzeitraum		nein	nein	nein
Temperatur vor Doppelzyklon	°C	136 - 139	140 - 142	136 - 138
Temperatur nach Gewebefilter	°C	125 - 128	131	124 - 127
Differenzdruck Gewebefilter	mbar	12,7 - 13,6	11,8 - 12,3	11,6 - 12,8
Adsorbensregelwerte	mg/m³	HCl 8,0 mg/m³ SO ₂ 30,0 mg/m³	HCl 8,0 mg/m³ SO ₂ 45,0 mg/m³	HCl 8,0 mg/m³ SO ₂ 30,0 mg/m³
Adsorbentyp		Kalkhydrat: „Walhalla-Dioxorb 896“, Fa. Walhalla, Regensburg		
Adsorbensdosierung	kg/h	ca. 50 - 60	ca. 50 - 60	ca. 50 - 60
Verbrauchsmengen SNCR				
45%-ige Harnstofflösung	l/h	38 - 46	40 - 48	33 - 42
eingestellte Mindestmenge	l/h	10	18	12
Wasser	l/h	440 - 460	440 - 460	440 - 460
eingestellter NO ₂ -Sollwert	mg/m³	110	110	110

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 53. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – AVA 3

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,015	0,010	0,010	0,01	0,01
Xylole	[mg/m³]	0,015	0,010	0,010	0,01	0,01
Toluol	[mg/m³]	0,015	0,010	0,010	0,01	0,01
HexaCBz	[µg/m³]	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
PentaCBz	[µg/m³]	0,001	0,002	0,002	0,00	0,00
PFOS	[µg/m³]	0,017	0,017	0,016	0,02	0,02
PCN	[µg/m³]	0,013	0,0125	0,0125	0,013	0,013
BbF	[µg/m³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
BkF	[µg/m³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
BaP	[µg/m³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
I123P	[µg/m³]	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,104	0,153	0,269	0,18	0,15
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,001	0,001	0,001	0,0010	0,0010
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,00020	0,00010	0,00020	0,00017	0,00020

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 54. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – AVA 3

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,475	0,290	0,345	0,37	0,35
Xylole	[g/h]	0,475	0,290	0,345	0,37	0,35
Toluol	[g/h]	0,475	0,290	0,345	0,37	0,35
HexaCBz	[mg/h]	0,10	0,09	0,10	0,097	0,100
PentaCBz	[mg/h]	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07
PFOS	[mg/h]	0,720	0,750	0,680	0,72	0,72
PCN	[mg/h]	0,56	0,54	0,545	0,548	0,545
BbF	[mg/h]	0,040	0,040	0,040	0,0400	0,0400
BkF	[mg/h]	0,04	0,04	0,04	0,0400	0,0400
BaP	[mg/h]	0,040	0,040	0,040	0,0400	0,0400
I123P	[mg/h]	0,04	0,04	0,04	0,0400	0,0400
PAK (EPA)	[mg/h]	3,52	5,23	8,93	5,89	5,23
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,04	0,05	0,02	0,0367	0,0400
PCB (TEF)	[µg/h]	0,010	0,010	0,010	0,0100	0,0100

4.2.12 AVA 4 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 55. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – AVA 4

Datum		19.08.2014	20.08.2014	21.08.2014
Messzeitraum		12:00-18:00 Uhr	09:00-15:00 Uhr	08:00-14:00 Uhr
Betriebsweise	-----	kontinuierlich	kontinuierlich	kontinuierlich
Betriebsart		Volllast	Volllast	Volllast
Lastfall	%	85 - 91	91 - 94	90 - 100
Feuerraumtemperatur	°C	1074 - 1103	1070 - 1105	1076 - 1114
Dampfmenge	t/h	18,2 – 24,5	18,1 – 24,1	19,5 – 24,5
Erdgasverbr. Brenner	m³/h	0	0	0
O ₂ - Gehalt Rauchgas	Vol %	7,6	7,7	7,0
Filterdruck	mbar	14,4 – 15,5	14,7 – 15,6	14,5 – 15,6
Austragstemperatur	°C	134 - 136	133 - 135	131 - 134
letzte Wartung		10/2013	10/2013	10/2013

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

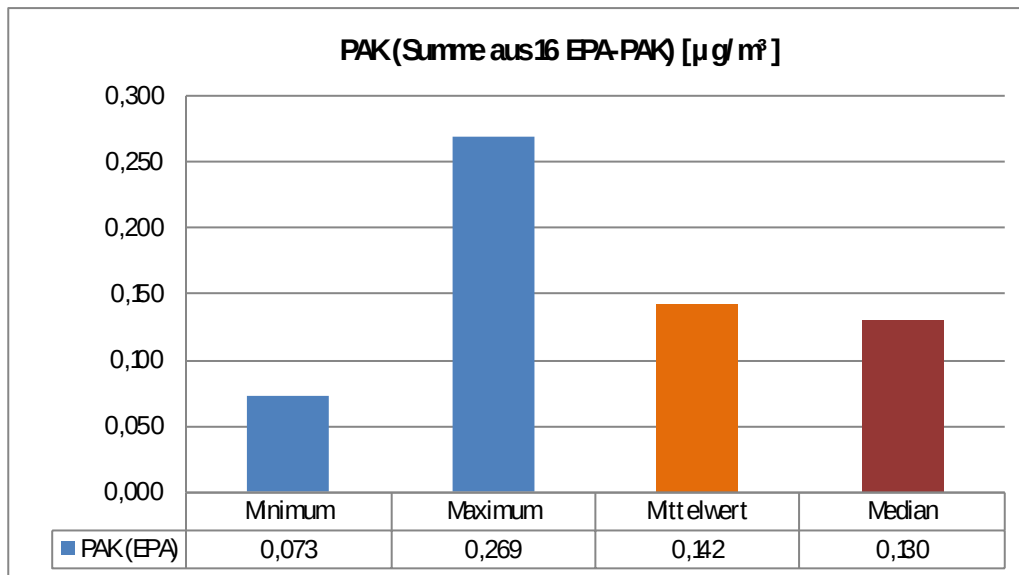
Tabelle 56. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – AVA 4

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,007	0,007	0,012	0,01	0,01
Xylole	[mg/m³]	0,007	0,007	0,012	0,01	0,01
Toluol	[mg/m³]	0,007	0,007	0,024	0,01	0,01
HexaCBz	[µg/m³]	0,0006	0,0006	0,0006	0,001	0,001
PentaCBz	[µg/m³]	0,0006	0,0006	0,0006	0,00	0,00
PFOS	[µg/m³]	0,016	0,017	0,016	0,02	0,02
PCN	[µg/m³]	0,016	0,015	0,016	0,016	0,016
BbF	[µg/m³]	0,0034	0,0011	0,0011	0,0019	0,0011
BkF	[µg/m³]	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
BaP	[µg/m³]	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0012
I123P	[µg/m³]	0,00115	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,24	0,14	0,08	0,15	0,14
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,0069	0,0008	0,0004	0,0027	0,0008
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,0012	0,0001	0,0001	0,0005	0,0001

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Die PAK-Emissionskonzentrationen haben von der ersten zu dritten Messung eine abnehmende Tendenz. Die Ursache hierfür ist nicht eindeutig. Auffallend ist, dass insbesondere bei der ersten Messung auch die PCDD/F und die dioxinähnlichen PCB eine höhere Emissionskonzentration aufwiesen.

Sehr augenscheinlich wird das Ergebnis am Beispiel des Benzo-b-fluoranthens (BbF), das in dem Summenwert der PAKs enthalten ist. Die Abbildung 44: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK



Im Abgas der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen wurden PAK-Konzentrationen (Summe aus 16 EPA-PAK) im Bereich zwischen 0,073 µg/m³ und 0,269 µg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,142 µg/m³ und der Median 0,130 µg/m³. In allen der zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 45 zeigt für die Messung 1 eine deutlich erhöhte BbF-Konzentration. Allerdings täuscht die Abbildung etwas, denn bei den weiteren Messungen wird das dargestellte Ergebnis mit 50 % der Bestimmungsgrenze gerechnet. Ausgehend von der Annahme, dass bei der zweiten Messung möglicherweise eine Konzentration knapp unter der Bestimmungsgrenze vorlag, würde dieser Unterschied nicht mehr so ausgeprägt erscheinen.

Tabelle 57. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – AVA 4

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,24	0,28	0,44	0,32	0,28
Xylole	[g/h]	0,24	0,28	0,44	0,32	0,28
Toluol	[g/h]	0,24	0,28	0,89	0,47	0,28
HexaCBz	[mg/h]	0,021	0,021	0,020	0,021	0,021
PentaCBz	[mg/h]	0,021	0,021	0,020	0,02	0,02
PFOS	[mg/h]	0,60	0,67	0,61	0,63	0,61
PCN	[mg/h]	0,59	0,59	0,57	0,58	0,59
BbF	[mg/h]	0,127	0,042	0,041	0,070	0,042
BkF	[mg/h]	0,042	0,042	0,041	0,042	0,042

BaP	[mg/h]	0,042	0,039	0,042	0,041	0,042
I123P	[mg/h]	0,042	0,042	0,041	0,042	0,042
PAK (EPA)	[mg/h]	8,85	5,47	2,95	5,76	5,47
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,2577	0,0315	0,0157	0,1016	0,0315
PCB (TEF)	[µg/h]	0,0430	0,0055	0,0053	0,0179	0,0055

4.2.13 Krematorium 1 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 58. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – Linie 1 im Krematorium 1

Datum / Uhrzeit	Sargart	Gewicht
19.11.2013 / 08:52	Natur	normal
19.11.2013 / 10:28	Natur	leicht
19.11.2013 / 11:52	Natur	normal
19.11.2013 / 13:15	Natur	normal
19.11.2013 / 14:30	Natur	normal
Wärmetauscher	Abkühlung von > 850 °C auf ca. 550 °C	
Verdampfungskühler	Abkühlung von 550 auf 190 °C	
Kühlluftzugabe	Abkühlung von 190 °C auf 165 °C	
Schlauchfilter	Kevlar-Nomex, PTFE-beschichtet	
Katalysator	TiO ₂ , V ₂ O ₅	

Tabelle 59. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen – Linie 2 im Krematorium 1

Datum / Uhrzeit	Sargart	Gewicht
20.11.2013 / 08:20	Natur	normal
20.11.2013 / 10:04	Natur	normal
20.11.2013 / 11:31	Natur	leicht
20.11.2013 / 12:47	Natur	mittel
20.11.2013 / 14:23	Natur	normal
Wärmetauscher	Abkühlung von > 850 °C auf ca. 550 °C	
Verdampfungskühler	Abkühlung von 550 auf 190 °C	
Kühlluftzugabe	Abkühlung von 190 °C auf 165 °C	
Schlauchfilter	Kevlar-Nomex, PTFE-beschichtet	
Katalysator	Jacobi Carbon	

Das Krematorium besteht aus zwei Linien, die bis auf den abschließenden Katalysator baugleich sind. An der Linie 1 kommt ein Katalysator mit Titandioxid- und Vanadiumpentoxid-Beschichtung zum Einsatz, an der Linie 2 ein Aktivkohleabsorber. Aus organisatorischen Gründen wurden die ersten beiden Einzelmessungen im Abgas der Linie 1 und die dritte Einzelmessung im Abgas der Linie 2 durchgeführt. Systematische Unterschiede sind deshalb nicht erkennbar.

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 60. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – Krematorium 1

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,015	0,010	0,140	0,06	0,02
Xylole	[mg/m³]	0,015	0,010	0,060	0,03	0,02
Toluol	[mg/m³]	0,015	0,010	0,060	0,03	0,02
HexaCBz	[µg/m³]	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002
PentaCBz	[µg/m³]	0,002	0,002	0,053	0,02	0,00
PFOS	[µg/m³]	0,011	0,009	0,044	0,02	0,01
PCN	[µg/m³]	0,045	0,05	0,1145	0,070	0,050
BbF	[µg/m³]	0,0130	0,0035	0,0040	0,0068	0,0040
BkF	[µg/m³]	0,0015	0,0035	0,0040	0,0030	0,0035
BaP	[µg/m³]	0,0015	0,0035	0,0040	0,0030	0,0035
I123P	[µg/m³]	0,0015	0,0035	0,004	0,0030	0,0035
PAK (EPA)	[µg/m³]	2,221	0,410	0,696	1,11	0,70
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,004	0,002	0,004	0,0033	0,0040
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,00040	0,00050	0,00100	0,00063	0,00050
Hg	[µg/m³]	8,43	6,72	70,63	28,59	8,43

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 61. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – Krematorium 1

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,010	0,010	0,030	0,02	0,01
Xylole	[g/h]	0,010	0,010	0,015	0,01	0,01
Toluol	[g/h]	0,01	0,010	0,015	0,01	0,01
HexaCBz	[mg/h]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PentaCBz	[mg/h]	0,001	0,001	0,01	0,00	0,00
PFOS	[mg/h]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PCN	[mg/h]	0,03	0,03	0,03	0,028	0,030
BbF	[mg/h]	0,010	0,002	0,001	0,004	0,002
BkF	[mg/h]	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
BaP	[mg/h]	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
I123P	[mg/h]	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
PAK (EPA)	[mg/h]	1,23	0,23	0,19	0,55	0,23
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,002	0,001	0,001	0,00	0,00
PCB (TEF)	[µg/h]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hg	[mg/h]	4,66	4,74	18,28	9,23	4,74

4.2.14 Krematorium 2 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 62. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen –Krematorium 2

Datum	Uhrzeit	Sargart	Gewicht
14.05.2014	08:03	Kiefer natur	170 kg
	09:50	Kiefer natur	110 kg
	11:06	Kiefer natur	90 kg
	12:13	Kiefer natur	95 kg
	13:15	Kiefer natur	110 kg
	14:45	Kiefer lackiert	
	15:49	Kiefer natur	
	16:50	Kiefer natur	
	17:37	Kiefer lackiert	
15.05.2014	08:09	Kiefer natur	
	09:10	Kiefer natur	
	10:55	Kiefer lackiert	
Wärmetauscher			
Zyklon			
Flachschlauchfilter	katalytisches Filtermaterial, Fa. Gore		

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 63. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – Krematorium 2

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01
Xylole	[mg/m³]	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01
Toluol	[mg/m³]	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01
HexaCBz	[µg/m³]	0,022	0,028	0,016	0,022	0,022
PentaCBz	[µg/m³]	0,076	0,098	0,049	0,07	0,08
PFOS	[µg/m³]	0,008	0,011	0,008	0,01	0,01
PCN	[µg/m³]	0,027	0,063	0,0525	0,048	0,053
BbF	[µg/m³]	0,0010	0,0020	0,0020	0,0017	0,0020
BkF	[µg/m³]	0,0010	0,0020	0,0020	0,0017	0,0020
BaP	[µg/m³]	0,0010	0,0020	0,0020	0,0017	0,0020
I123P	[µg/m³]	0,001	0,002	0,002	0,0017	0,0020
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,102	0,861	0,228	0,40	0,23
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,01	0,012	0,005	0,0090	0,0100
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,00020	0,00100	0,00050	0,00057	0,00050
Hg	[µg/m³]	2,57	72,58	22,29	32,48	22,29

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 64. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – Krematorium 2

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,010	0,005	0,005	0,01	0,01
Xylole	[g/h]	0,010	0,005	0,005	0,01	0,01
Toluol	[g/h]	0,01	0,005	0,005	0,01	0,01
HexaCBz	[mg/h]	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
PentaCBz	[mg/h]	0,11	0,1	0,06	0,09	0,10
PFOS	[mg/h]	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
PCN	[mg/h]	0,04	0,07	0,06	0,055	0,060
BbF	[mg/h]	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002
BkF	[mg/h]	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002
BaP	[mg/h]	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002
I123P	[mg/h]	0,0015	0,0025	0,002	0,002	0,002
PAK (EPA)	[mg/h]	0,15	0,89	0,27	0,44	0,27
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
PCB (TEF)	[µg/h]	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
Hg	[mg/h]	4,27	76,71	27,62	36,20	27,62

4.2.15 Krematorium 3 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 65. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen –Krematorium 3

Ofen Nr.		Einäscherungszähler am 10.12.2014 (vor Beginn der Messungen)		Temperatur Nachbrennkammer [°C]		
1		695		857...986		
2		543		848...945		
Messung Nr.	Ofen Nr.	Einäscherungsbeginn	Einäscherungs-Nr.	Geburtsjahr	Gewicht [kg]	Sargausführung
1	1	8:43	92694	1945	115	patiniert
	2	9:13	92679	1930	110	lackiert
2	1	10:20	92699	1938	70	natur
	2	10:47	92688	1950	95	natur
3	1	11:52	92698	1925	110	natur
	2	12:19	92706	1943	90	patiniert
4	1	13:29	92673	1921	95	patiniert
	2	13:59	92700	1943	109	patiniert
5	1	15:00	92704	1935	110	natur
	2	15:28	92705	1945	105	patiniert

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 66. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – Krematorium 3

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,160	0,140	0,090	0,13	0,14
Xylole	[mg/m³]	0,020	0,020	0,010	0,02	0,02
Toluol	[mg/m³]	0,07	0,040	0,010	0,04	0,04
HexaCBz	[µg/m³]	0,002	0,050	0,028	0,027	0,028
PentaCBz	[µg/m³]	0,002	0,228	0,074	0,10	0,07
PFOS	[µg/m³]	0,028	0,028	0,024	0,03	0,03
PCN	[µg/m³]	0,053	0,054	0,052	0,053	0,053
BbF	[µg/m³]	0,0040	0,0080	0,0170	0,0097	0,0080
BkF	[µg/m³]	0,0040	0,0025	0,0035	0,0033	0,0035
BaP	[µg/m³]	0,0040	0,0025	0,0035	0,0033	0,0035
I123P	[µg/m³]	0,004	0,0025	0,0035	0,0033	0,0035
PAK (EPA)	[µg/m³]	0,292	0,779	1,473	0,85	0,78
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,001	0,352	0,256	0,2030	0,2560
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,00050	0,00900	0,00400	0,005	0,004
Hg	[µg/m³]	0,170	0,131	0,128	0,143	0,131

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 67. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – Krematorium 3

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,340	0,300	0,180	0,27	0,30
Xylole	[g/h]	0,045	0,040	0,020	0,04	0,04
Toluol	[g/h]	0,15	0,080	0,020	0,08	0,08
HexaCBz	[mg/h]	0,01	0,11	0,06	0,06	0,06
PentaCBz	[mg/h]	0,005	0,48	0,15	0,21	0,15
PFOS	[mg/h]	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06
PCN	[mg/h]	0,09	0,11	0,11	0,103	0,110
BbF	[mg/h]	0,005	0,020	0,030	0,018	0,020
BkF	[mg/h]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
BaP	[mg/h]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
I123P	[mg/h]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
PAK (EPA)	[mg/h]	0,51	1,64	3,06	1,74	1,64
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,002	0,74	0,53	0,42	0,53
PCB (TEF)	[µg/h]	0,001	0,020	0,010	0,010	0,010
Hg	[mg/h]	0,296	0,228	0,222	0,249	0,228

4.2.16 Krematorium 4 – Betriebsbedingungen und Messergebnisse

Tabelle 68. Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt der Messungen –Krematorium 4

Einäscherung Nr.	Ofen Nr.	Datum	Einäscherungsbeginn
1	1	30.06.	9:10 Uhr
2	1	30.06.	10:20 Uhr
3	1	30.06.	11:40 Uhr
4	1	30.06.	12:35 Uhr
5	1	30.06.	13:50 Uhr
6	1	01.07.	08:05 Uhr
7	1	01.07.	09:05 Uhr
8	1	01.07.	10:10 Uhr
9	1	01.07.	11:40 Uhr
10	1	01.07.	12:35 Uhr
11	1	01.07.	13:30 Uhr

Nachfolgend werden die Einzelwerte, Mittelwerte und Mediane aller Schadstoffe dokumentiert, einschließlich derer, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen (Vorgehensweise siehe Abschnitt 1.1) in Tabellen dargestellt. Angegeben werden jeweils die Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% und die ermittelten Massenströme:

Tabelle 69. Messergebnisse der Einzelmessungen, Konzentrationen – Krematorium 4

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[mg/m³]	0,010	0,020	0,015	0,02	0,02
Xylole	[mg/m³]	0,010	0,020	0,015	0,02	0,02
Toluol	[mg/m³]	0,01	0,020	0,015	0,02	0,02
HexaCBz	[µg/m³]	0,015	0,011	--	0,013	0,013
PentaCBz	[µg/m³]	0,028	0,021	--	0,02	0,02
PFOS	[µg/m³]	0,008	0,014	0,012	0,01	0,01
PCN	[µg/m³]	0,063	0,048	--	0,056	0,056
BbF	[µg/m³]	0,0045	0,0035	--	0,0040	0,0040
BkF	[µg/m³]	0,0045	0,0035	--	0,0040	0,0040
BaP	[µg/m³]	0,0045	0,0035	--	0,0040	0,0040
I123P	[µg/m³]	0,0045	0,0035	--	0,0040	0,0040
PAK (EPA)	[µg/m³]	2,994	1,539	--	2,27	2,27
PCDD/F (TEF)	[ng/m³]	0,003	0,005	--	0,0040	0,0040
PCB (TEF)	[ng/m³]	0,0010	0,0004	--	0,0007	0,0007
Hg	[µg/m³]	124,4	107,7	79,7	104,0	107,7

Konzentrationen bezogen auf Normbedingungen (273 K, 1013 hPa) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

Tabelle 70. Messergebnisse der Einzelmessungen, Massenströme – Krematorium 4

Schadstoff	Einheit	M1	M2	M3	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,030	0,035	0,035	0,03	0,04
Xylole	[g/h]	0,030	0,035	0,035	0,03	0,04
Toluol	[g/h]	0,03	0,035	0,035	0,03	0,04
HexaCBz	[mg/h]	0,040	0,030	--	0,035	0,035
PentaCBz	[mg/h]	0,070	0,050	--	0,060	0,060
PFOS	[mg/h]	0,020	0,030	0,030	0,027	0,030
PCN	[mg/h]	0,155	0,125	--	0,140	0,140
BbF	[mg/h]	0,010	0,010	--	0,010	0,010
BkF	[mg/h]	0,010	0,010	--	0,010	0,010
BaP	[mg/h]	0,010	0,010	--	0,010	0,010
I123P	[mg/h]	0,010	0,010	--	0,010	0,010
PAK (EPA)	[mg/h]	7,30	3,98	--	5,64	5,64
PCDD/F (TEF)	[µg/h]	0,010	0,010	--	0,010	0,010
PCB (TEF)	[µg/h]	0,001	0,001	--	0,001	0,001
Hg	[mg/h]	334,0	225,0	197,2	252,1	225,0

Aus organisatorischen Gründen konnten am Krematorium 4 nur zwei PCDD/F-Messungen durchgeführt werden. Insofern können auch für die aus der gleichen Probe analysierten Verbindungen (HexaCBz, PentaCBz, PCN, PAK und PCB) nicht ausgewiesen werden.

5 Anlagenspezifische Aufbereitung der Daten

5.1 Abfallverbrennungsanlagen

Die im Abschnitt 5.1 aufgeführten Abbildungen zeigen die Ergebnisse der vier untersuchten Abfallverbrennungsanlagen, sowie die Minima, die Maxima, die Mittelwerte und die Mediane.

5.1.1 PCDD/F- und dioxinähnliche PCB-Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen

Die TEF-Werte wurden unter Verwendung der Äquivalenzfaktoren entsprechend WHO-TEF 2005 berechnet. Sofern Einzelkomponenten unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurden diese bei der Summenbildung mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 11: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB

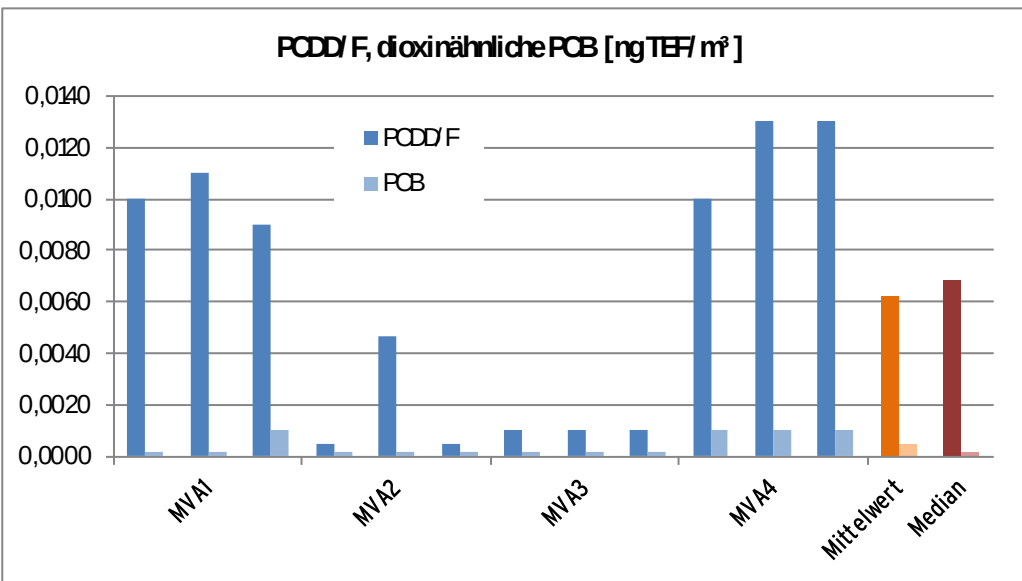
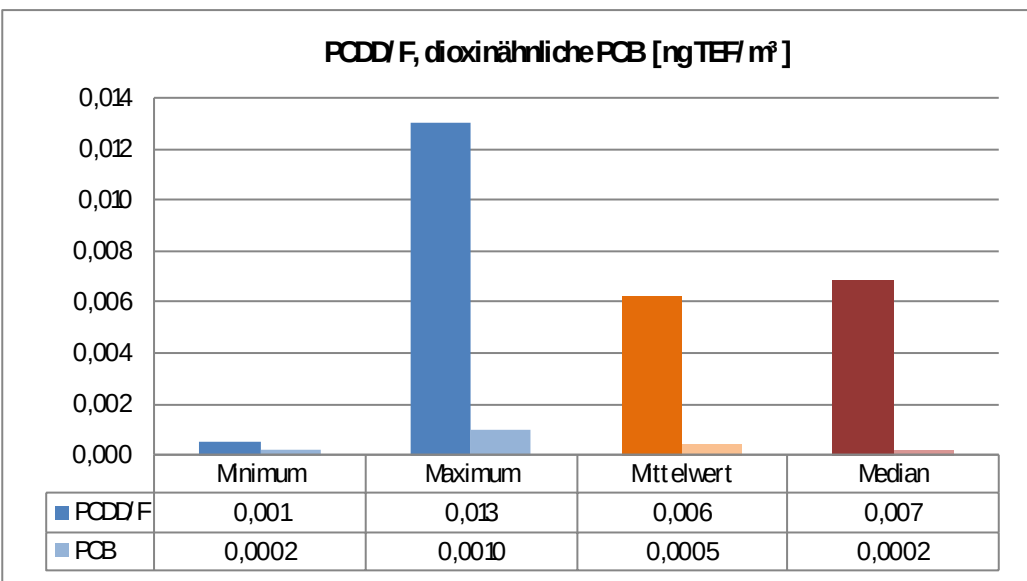


Abbildung 12: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB



Im Abgas der vier untersuchten Abfallverbrennungsanlagen wurden PCDD/F-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,001 ng TEF/m³ und 0,0013 ng TEF/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt

0,006 ng TEF/m³ und der Median 0,007 ng TEF/m³. In neun von zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Neben den Dioxinen und Furanen wurden auch dioxinähnliche PCB untersucht. Es wurden Konzentrationen im Bereich zwischen 0,0002 ng TEF/m³ und 0,0010 ng TEF/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,0005 ng TEF/m³ und der Median 0,0002 ng TEF/m³. In drei von zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

5.1.2 BTX-Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 13: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylenen

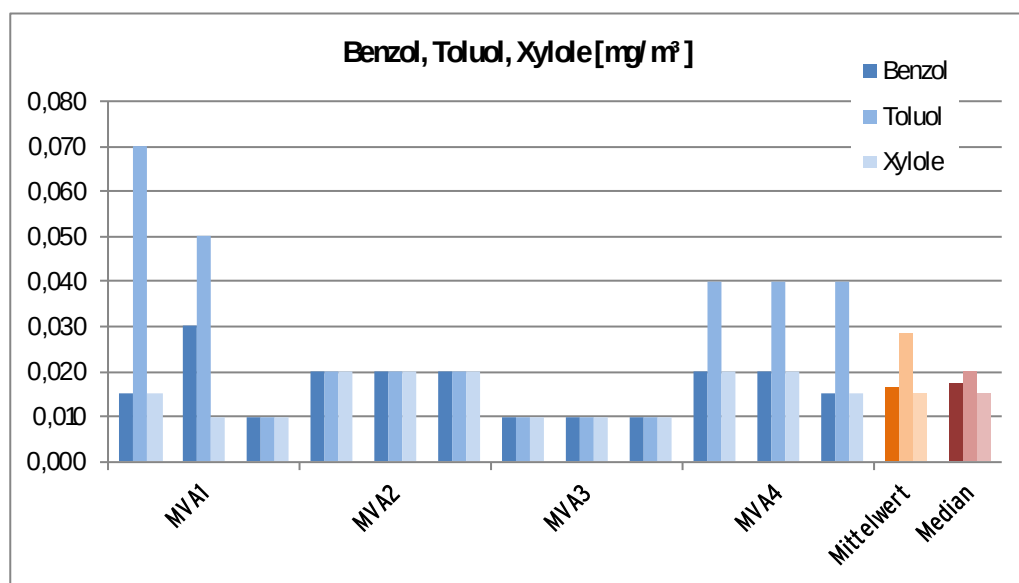
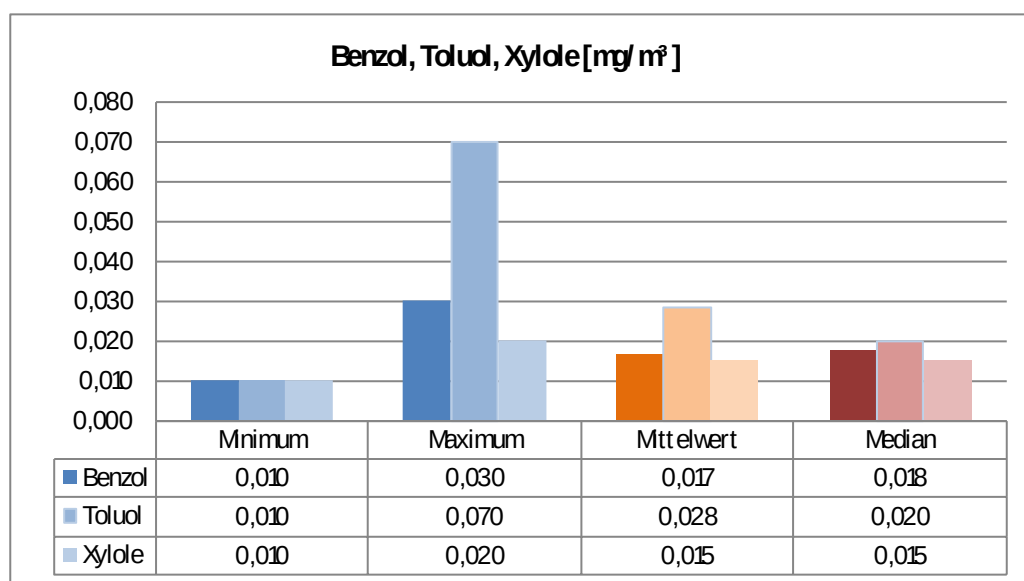


Abbildung 14: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylenen



Im Abgas der vier untersuchten Abfallverbrennungsanlagen wurden Benzol-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,01 mg/m³ und 0,03 mg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,017 mg/m³ und der

Median 0,018 mg/m³. In einer von zwölf Proben wurde eine Benzol-Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Die ermittelten Toluol-Konzentrationen variieren im Bereich zwischen 0,01 mg/m³ und 0,07 mg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,028 mg/m³ und der Median 0,02 mg/m³. In fünf von zwölf Proben wurden Toluol-Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Die ermittelten Xylol-Konzentrationen lagen zwischen 0,01 mg/m³ und 0,02 mg/m³. Der Mittelwert und Median betragen jeweils 0,015 mg/m³. In keiner der zwölf Proben wurden Xylole oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen.

5.1.3 PentaCBz- und HexaCBz -Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 15: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz

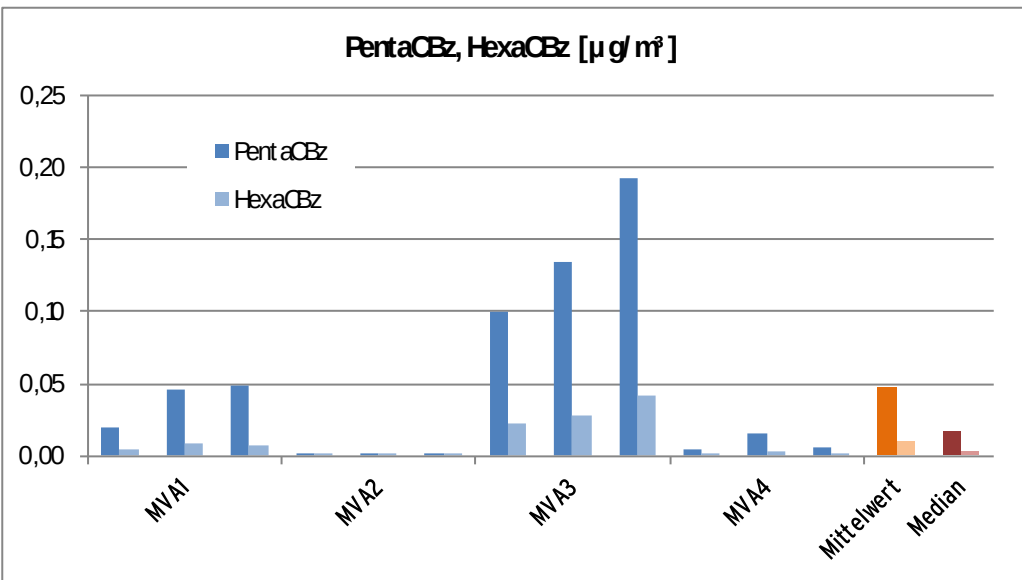
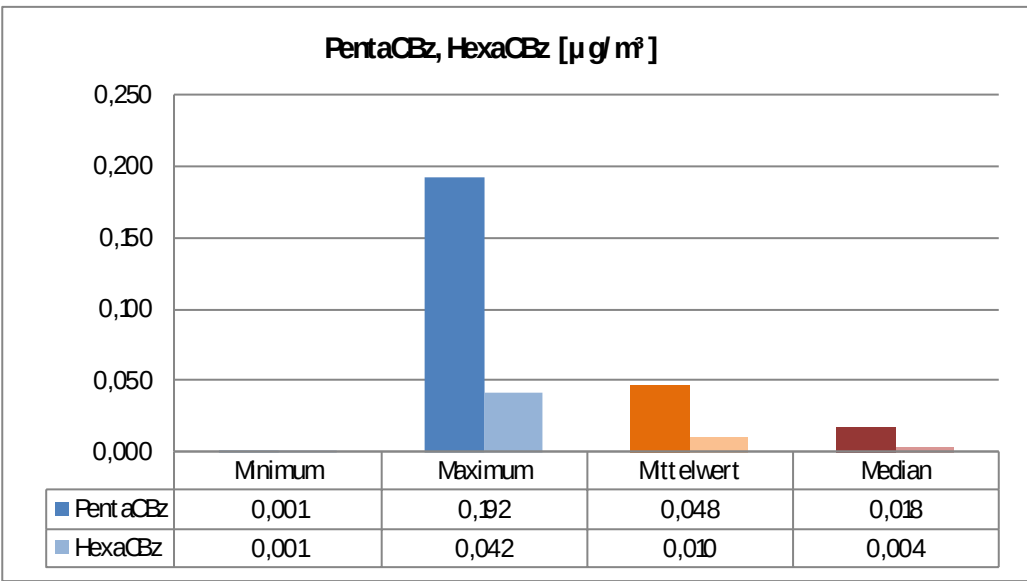


Abbildung 16: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz



Im Abgas der vier untersuchten Abfallverbrennungsanlagen wurden PentaCBz-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,001 µg/m³ und 0,192 µg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,048 µg/m³ und der Median 0,018 µg/m³. In neun von zwölf Proben wurde eine PentaCBz -Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Die ermittelten HexaCBz -Konzentrationen variieren im Bereich zwischen 0,01 µg/m³ und 0,042 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,010 µg/m³ und der Median 0,004 µg/m³. In neun von zwölf Proben wurden HexaCBz -Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

5.1.4 Perfluorooctansulfonat- und polychlorierte Naphthalin-Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 17: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN

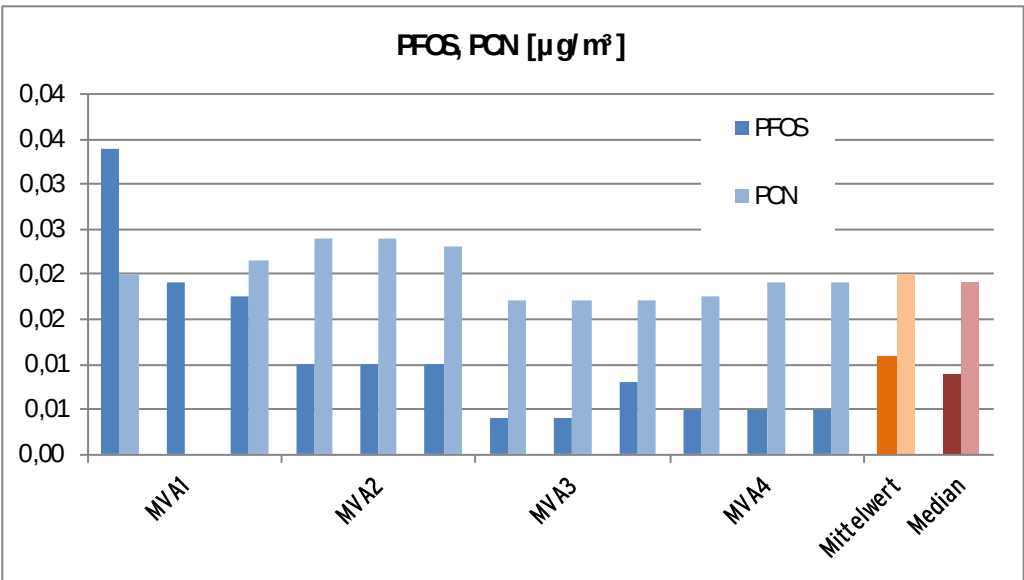
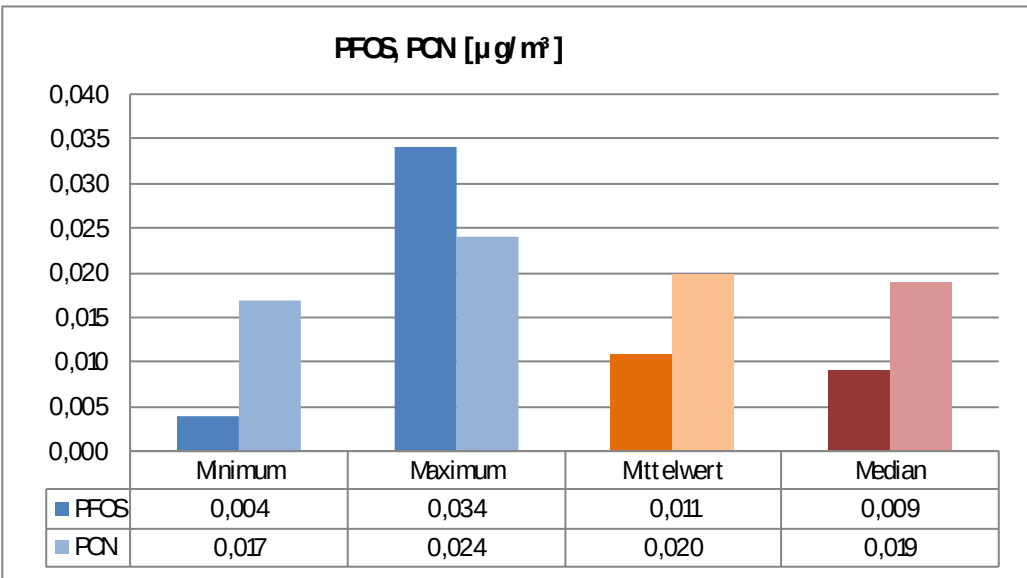


Abbildung 18: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN



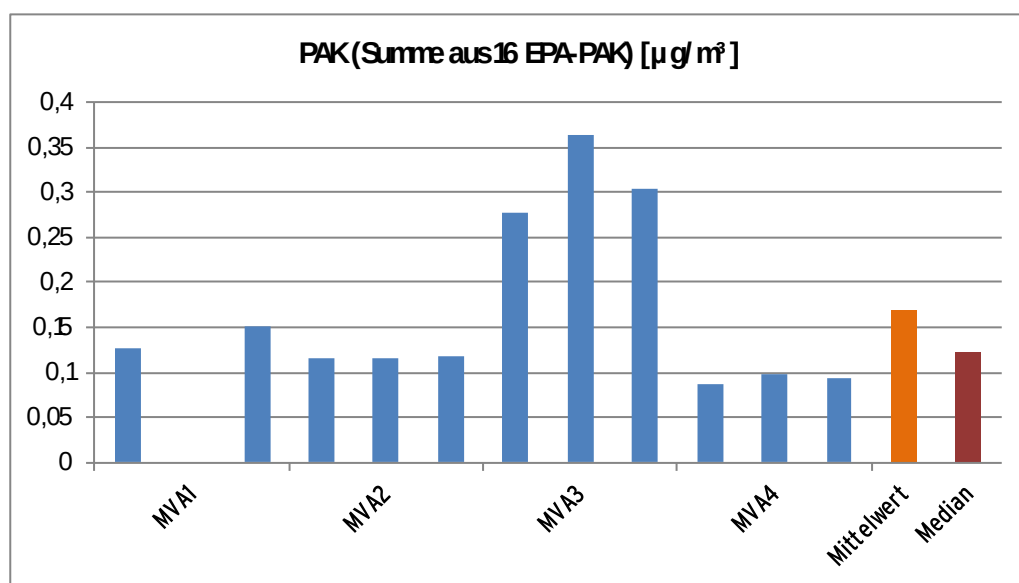
Im Abgas der vier untersuchten Abfallverbrennungsanlagen wurden PFOS-Konzentrationen im Bereich zwischen $0,004 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,034 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der Mittelwert beträgt $0,011 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median $0,009 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In einer von zwölf Proben wurde eine PFOS-Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Die ermittelten PCN-Konzentrationen variieren im Bereich zwischen $0,017 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,034 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Mittelwert beträgt $0,011 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median $0,004 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In keiner der zwölf Proben wurden PCN-Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

5.1.5 PAK-Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen

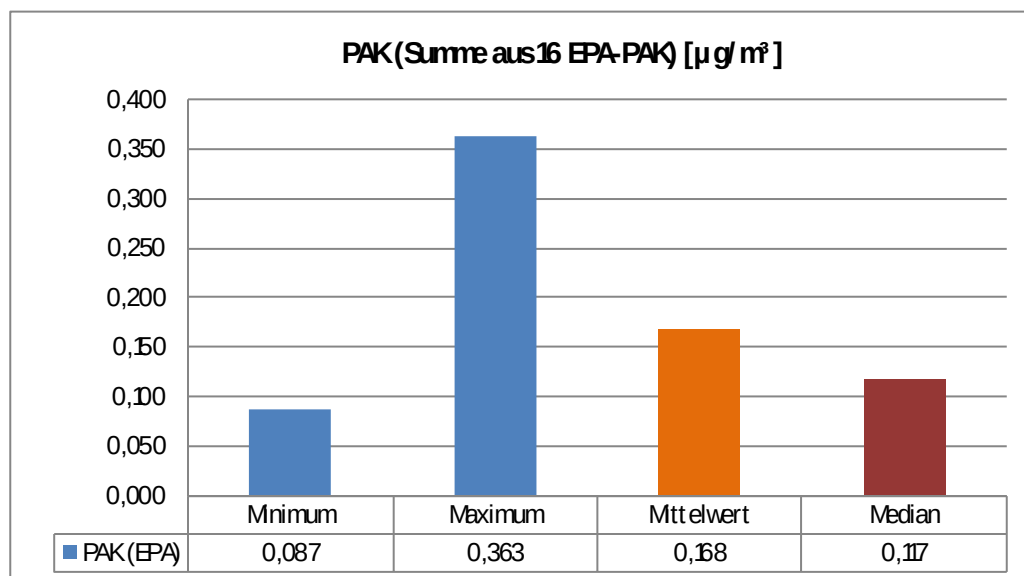
In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 19: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PAK



Die ermittelten Einzelwerte der zweiten Messung bei MVA1 wurden wegen aufgetretener Matrixeffekte bei der Analytik nicht berücksichtigt.

Abbildung 20: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK



Im Abgas der vier untersuchten Abfallverbrennungsanlagen wurden PAK-Konzentrationen (Summe aus 16 EPA-PAK) im Bereich zwischen $0,087 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,363 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der Mittelwert beträgt $0,168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median $0,117 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In neun von zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 21: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P

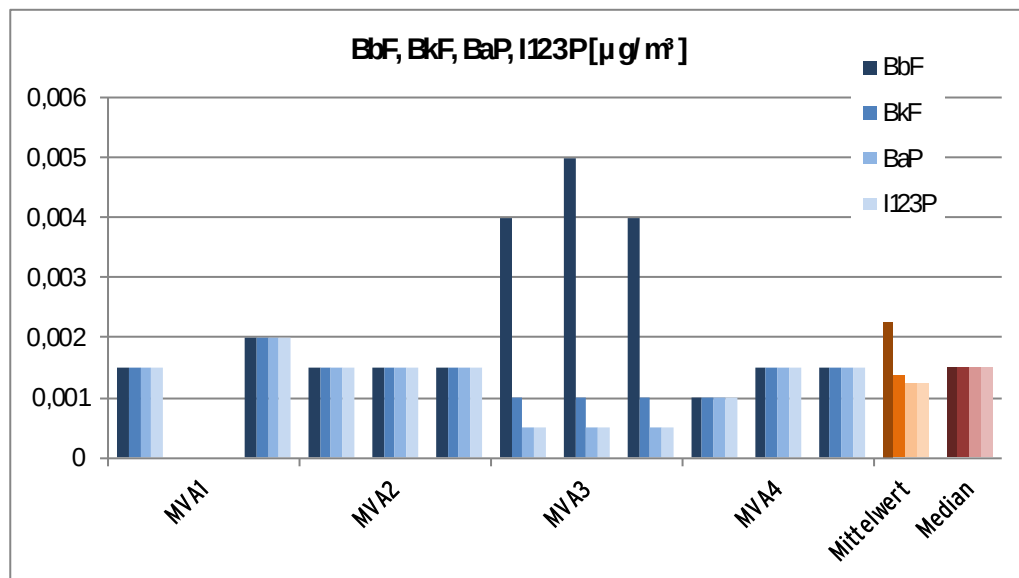
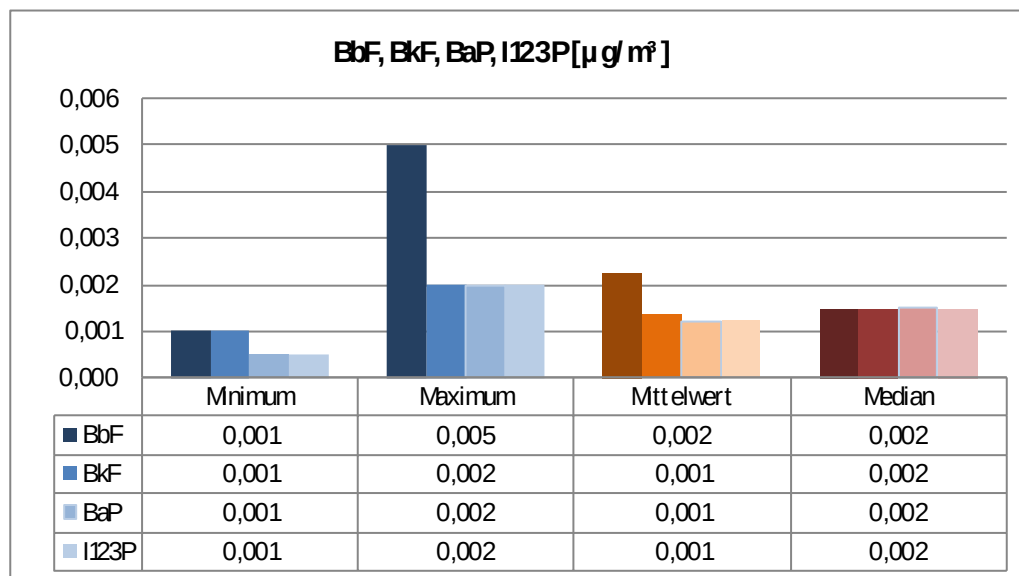


Abbildung 22: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P



Im Abgas der vier untersuchten Abfallverbrennungsanlagen wurden BbF-Konzentrationen im Bereich zwischen $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der Mittelwert beträgt $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median ebenfalls $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In drei von zwölf Proben wurde eine BbF-Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Die ermittelten BkF-, BaP- und I123P-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich für alle drei Verbindungen Emissionskonzentrationen zwischen $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Mittelwert beträgt $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2 Klärschlammverbrennungsanlagen

Die im Abschnitt 5.1 aufgeführten Abbildungen zeigen die Ergebnisse der vier untersuchten Klärschlammverbrennungsanlagen, sowie die Minima, die Maxima, die Mittelwerte und die Mediane.

5.2.1 PCDD/F- und dioxinähnliche PCB-Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen

Die TEF-Werte wurden unter Verwendung der Äquivalenzfaktoren entsprechend WHO-TEF 2005 berechnet. Sofern Einzelkomponenten unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurden diese bei der Summenbildung mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 23: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB

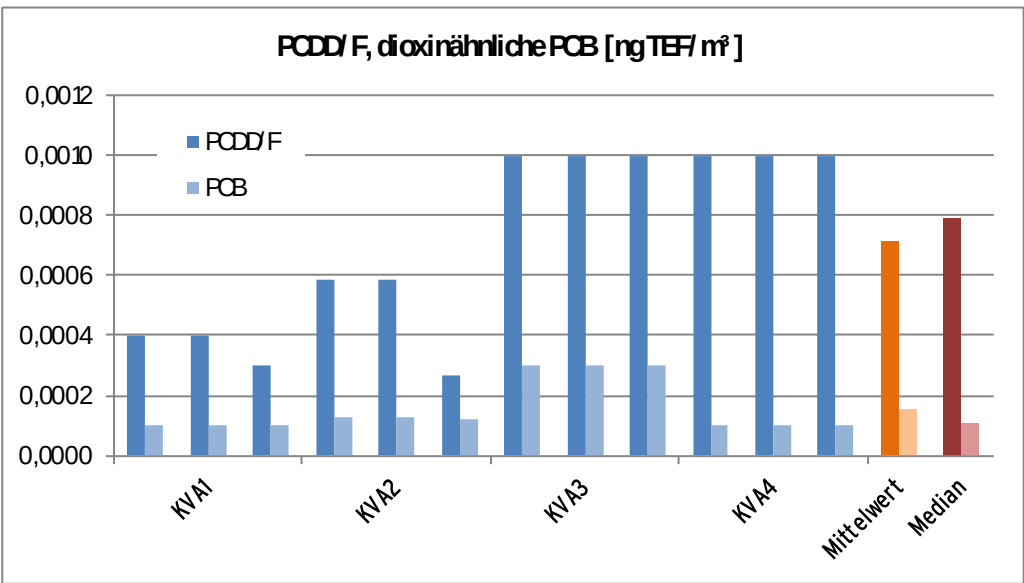
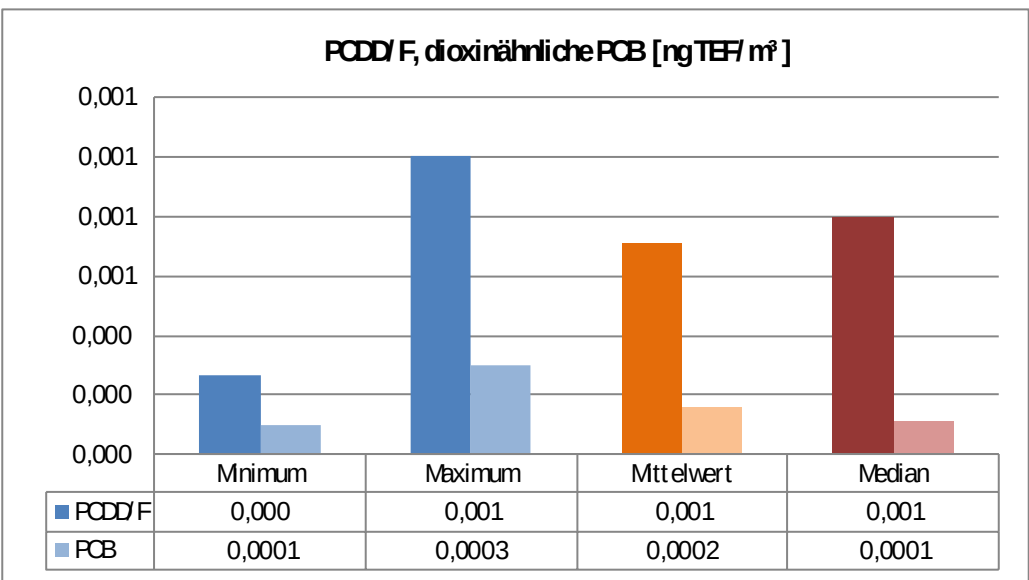


Abbildung 24: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB



Im Abgas der vier untersuchten Klärschlammverbrennungsanlagen wurden PCDD/F-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,000 ng TEF/m³ und 0,001 ng TEF/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,001 ng TEF/m³ und der Median ebenfalls 0,001 ng TEF/m³. In neun von zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Neben den Dioxinen und Furanen wurden auch dioxinähnliche PCB untersucht. Es wurden Konzentrationen im Bereich zwischen 0,0001 ng TEF/m³ und 0,0003 ng TEF/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,0002 ng TEF/m³ und der Median 0,0001 ng TEF/m³. In keiner der zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

5.2.2 BTX-Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 25: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylenen

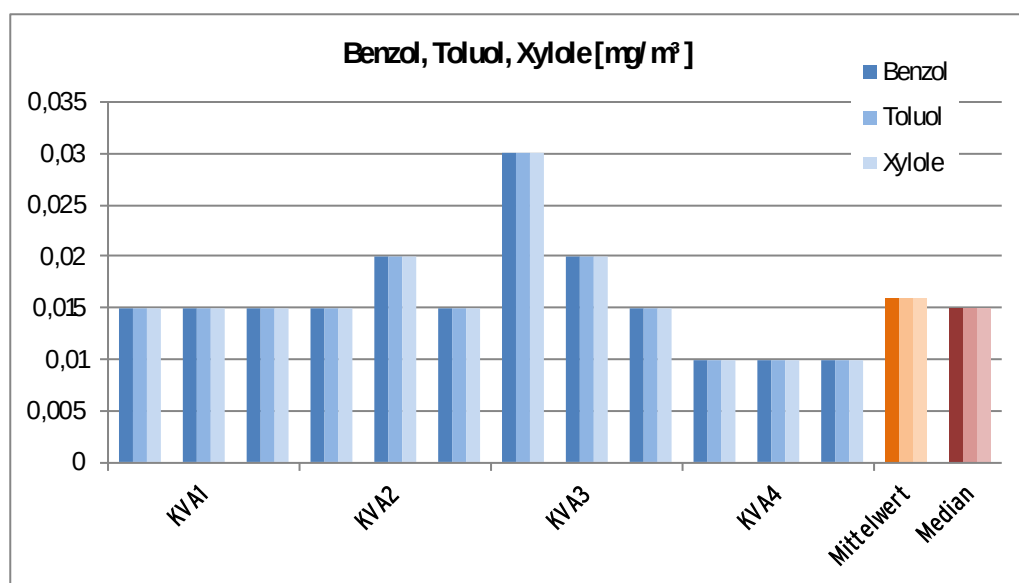
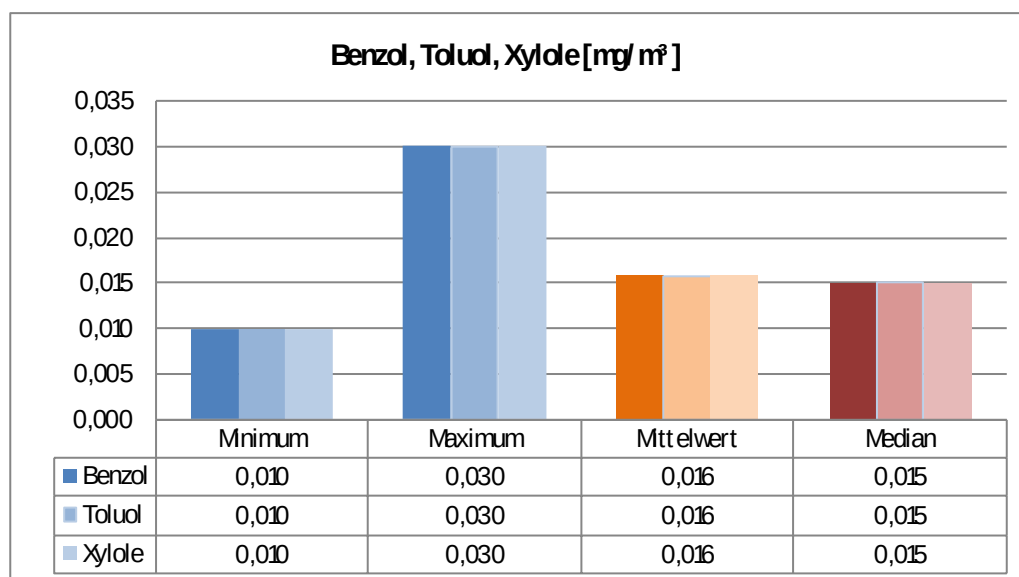


Abbildung 26: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylenen



Die im Abgas der vier untersuchten Klärschlammverbrennungsanlagen ermittelten BTX-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich für alle drei Verbindungen Emissionskonzentrationen zwischen 0,01 mg/m³ und 0,03 mg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,016 mg/m³ und der Median 0,015 mg/m³.

5.2.3 PentaCBz- und HexaCBz -Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 27: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz

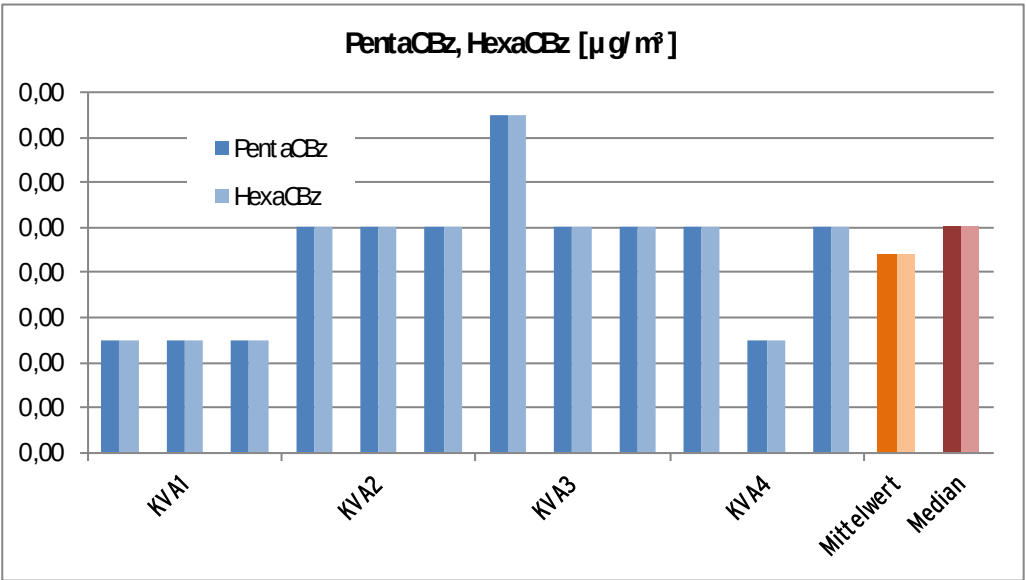
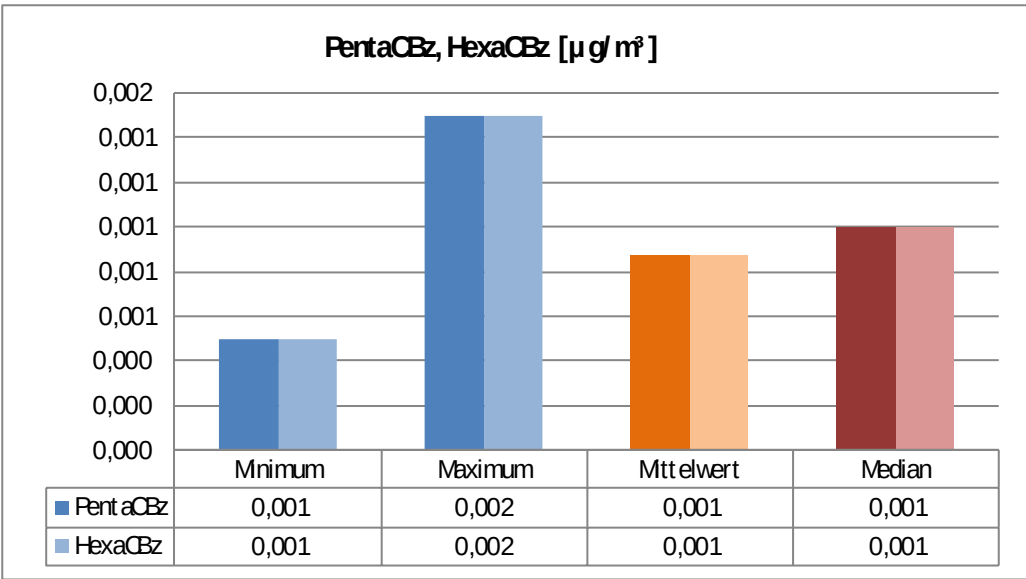


Abbildung 28: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz



Die im Abgas der vier untersuchten Klärschlammverbrennungsanlagen ermittelten PentaCBz- und HexaCBz-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich für beide Verbindungen Emissionskonzentrationen zwischen 0,001 µg/m³ und 0,002 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,001 µg/m³ und der Median ebenfalls 0,001 µg/m³.

5.2.4 Perfluorooctansulfonat- und polychlorierte Naphthalin-Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 29: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN

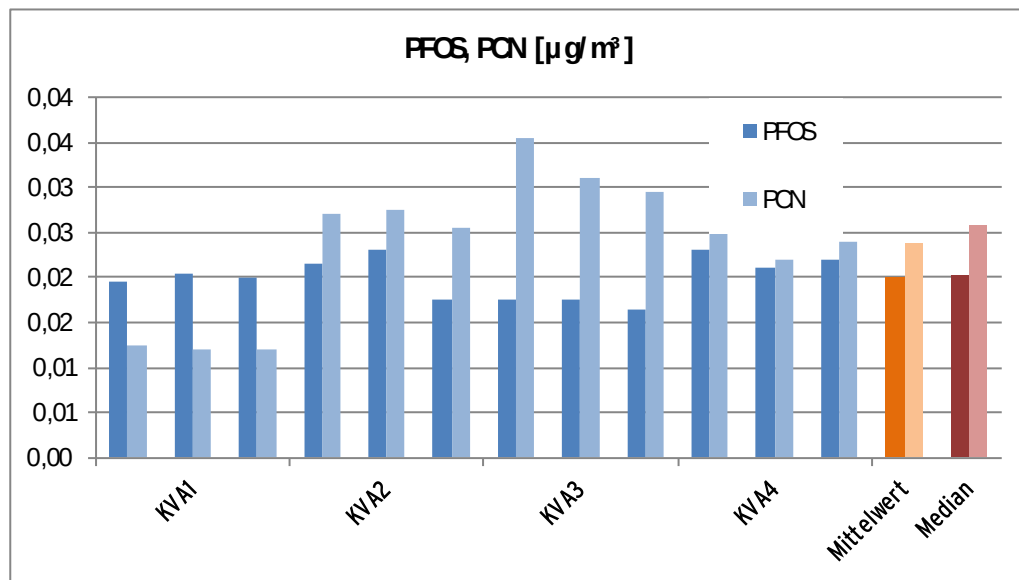
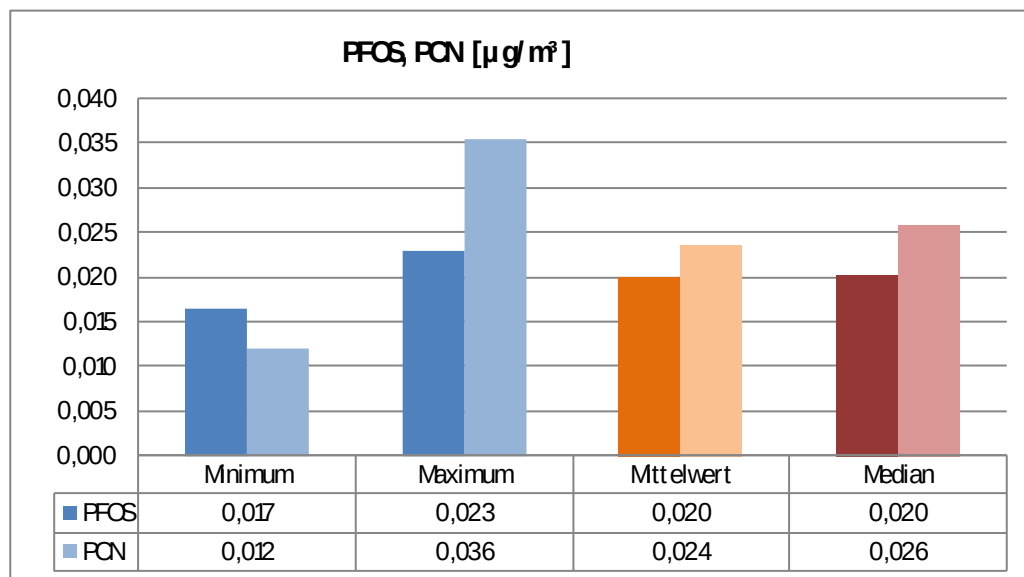


Abbildung 30: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN



Die im Abgas der vier untersuchten Klärschlammverbrennungsanlagen ermittelten PFOS-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich für alle drei Verbindungen Emissionskonzentrationen zwischen 0,017 µg/m³ und 0,023 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,020 µg/m³ und der Median ebenfalls 0,020 µg/m³.

Die ermittelten PCN-Konzentrationen variieren im Bereich zwischen 0,012 µg/m³ und 0,036 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,024 µg/m³ und der Median 0,026 µg/m³. In drei der zwölf Proben (KVA 4) wurden PCN-Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

5.2.5 PAK-Emissionen aus Klärschlammverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 31: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PAK

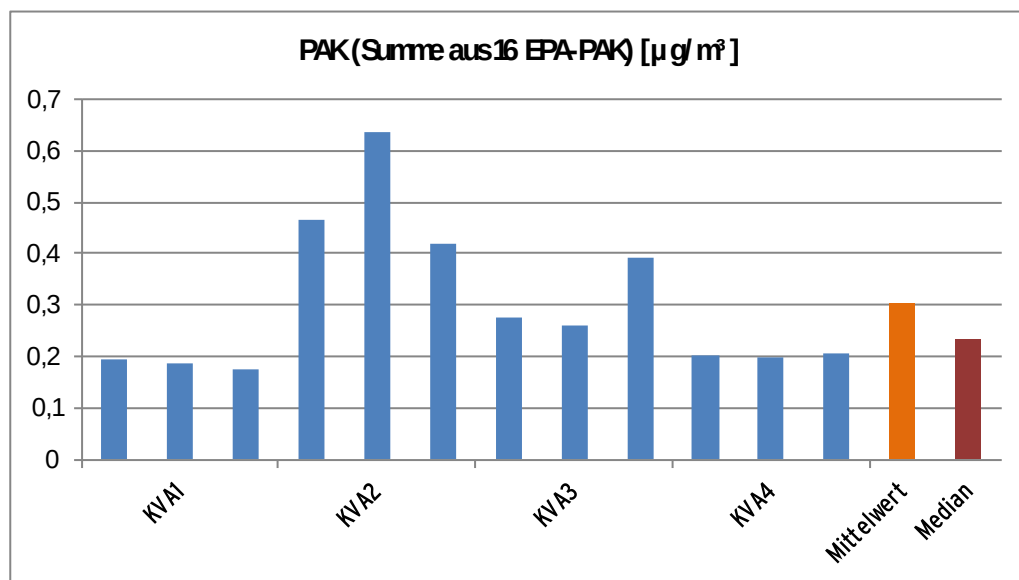
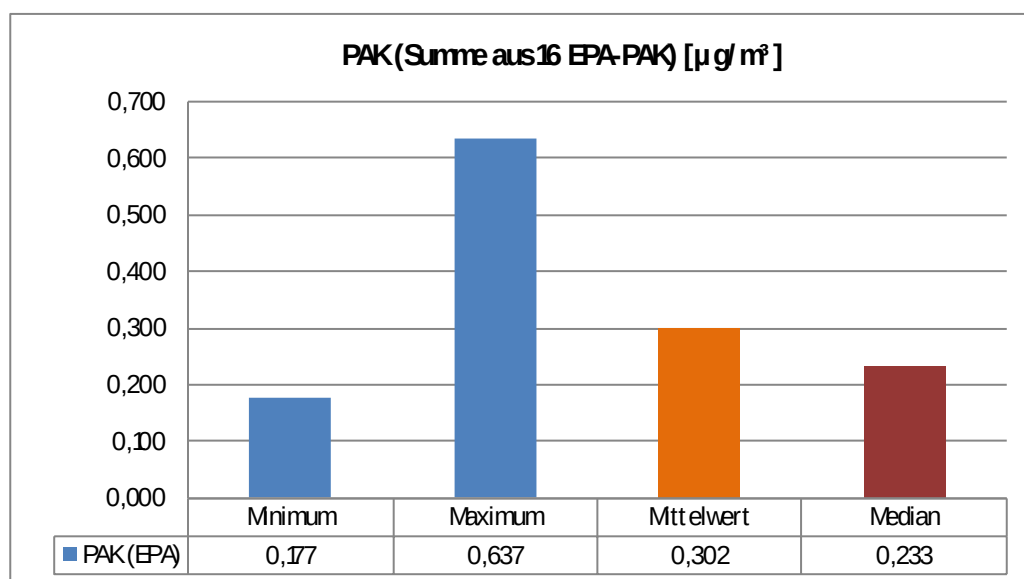


Abbildung 32: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK



Im Abgas der vier untersuchten Klärschlammverbrennungsanlagen wurden PAK-Konzentrationen (Summe aus 16 EPA-PAK) im Bereich zwischen 0,177 µg/m³ und 0,637 µg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,302 µg/m³ und der Median 0,233 µg/m³. In allen der zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 33: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P

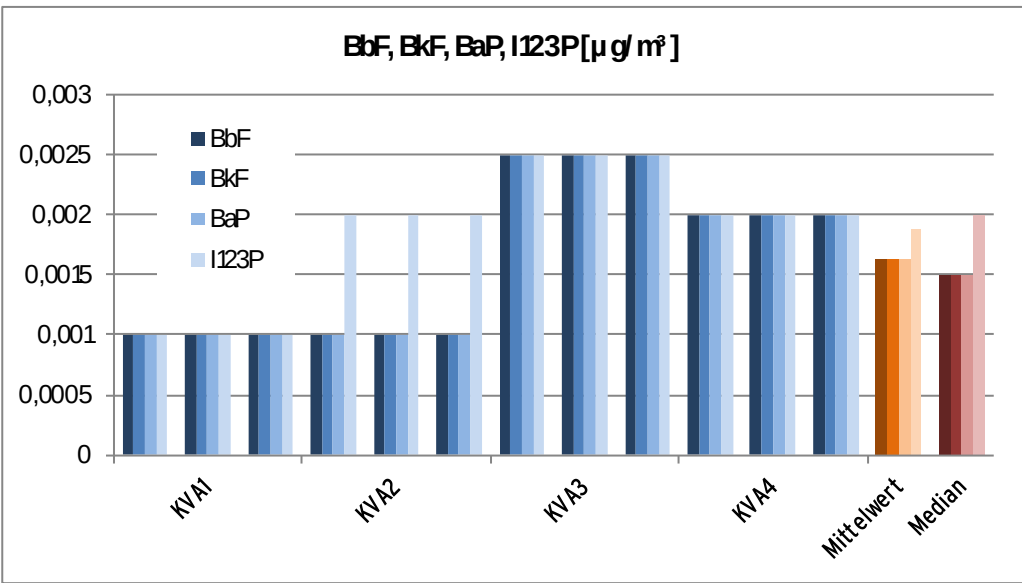
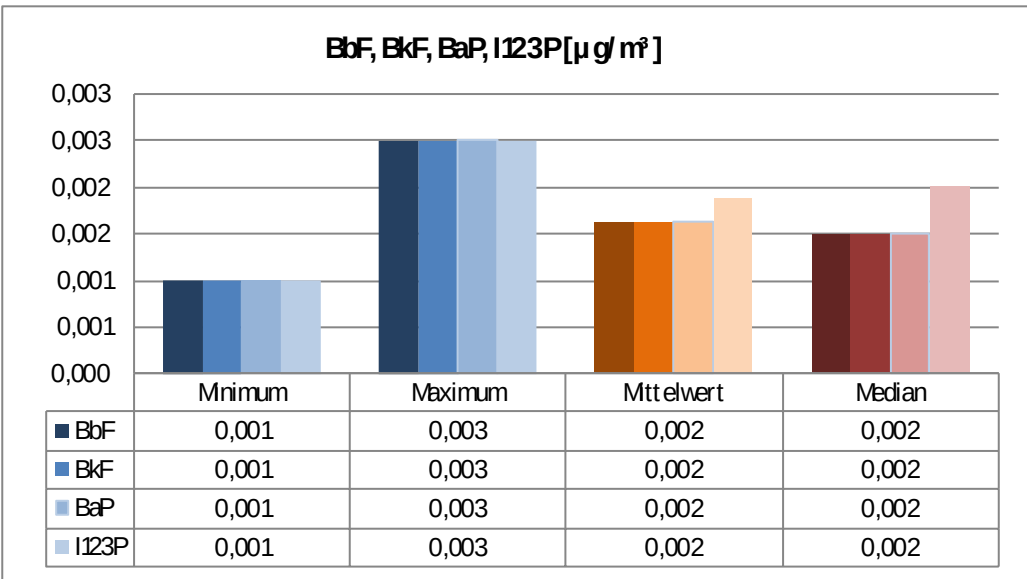


Abbildung 34: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P



Die im Abgas der vier untersuchten Klärschlammverbrennungsanlagen ermittelten BbF-, BkF-, BaP- und I123P-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich für alle vier Verbindungen Emissionskonzentrationen zwischen 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und 0,003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Mittelwert beträgt 0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median ebenfalls 0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.3 Altholzverbrennungsanlagen

Die im Abschnitt 5.1 aufgeführten Abbildungen zeigen die Ergebnisse der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen, sowie die Minima, die Maxima, die Mittelwerte und die Mediane.

5.3.1 PCDD/F- und dioxinähnliche PCB-Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen

Die TEF-Werte wurden unter Verwendung der Äquivalenzfaktoren entsprechend WHO-TEF 2005 berechnet. Sofern Einzelkomponenten unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurden diese bei der Summenbildung mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 35: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB

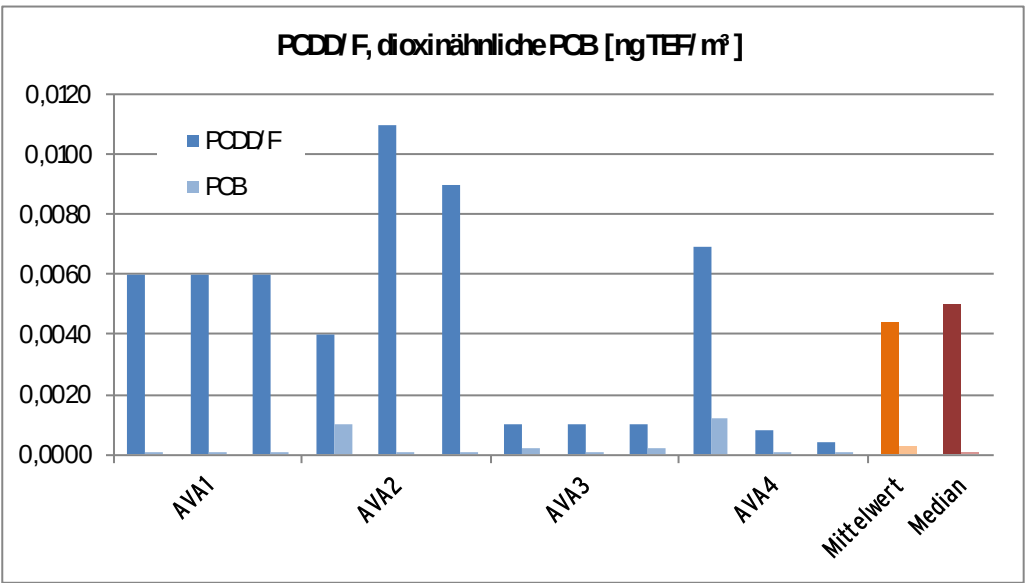
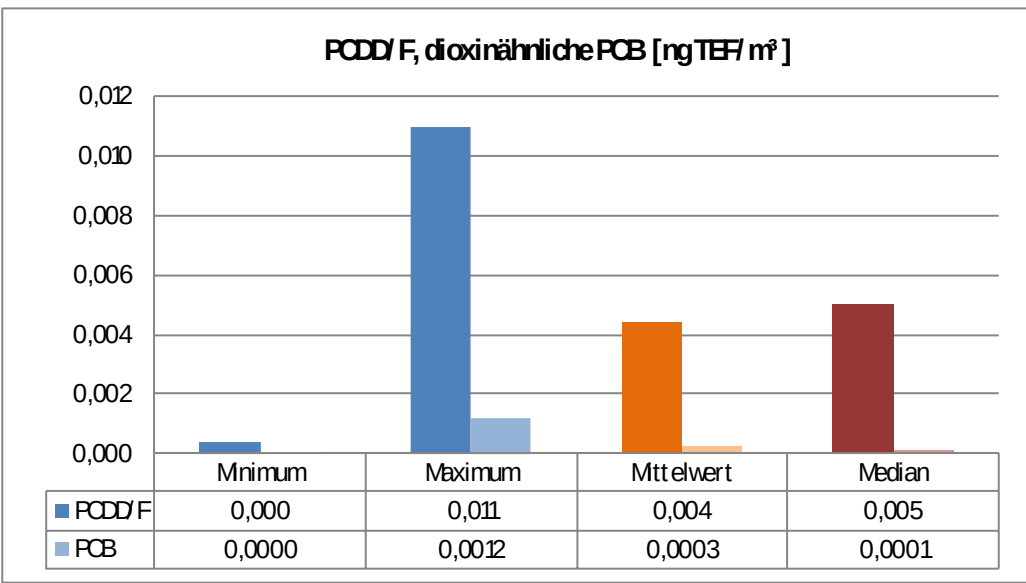


Abbildung 36: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB



Im Abgas der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen wurden PCDD/F-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,000 ng TEF/m³ und 0,011 ng TEF/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,004 ng TEF/m³ und der Median 0,005 ng TEF/m³. In allen der zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Neben den Dioxinen und Furanen wurden auch dioxinähnliche PCB untersucht. Es wurden Konzentrationen im Bereich zwischen 0,0000 ng TEF/m³ und 0,0012 ng TEF/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,0003 ng TEF/m³ und der Median 0,0001 ng TEF/m³. In sechs von zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

5.3.2 BTX-Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 37: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylenen

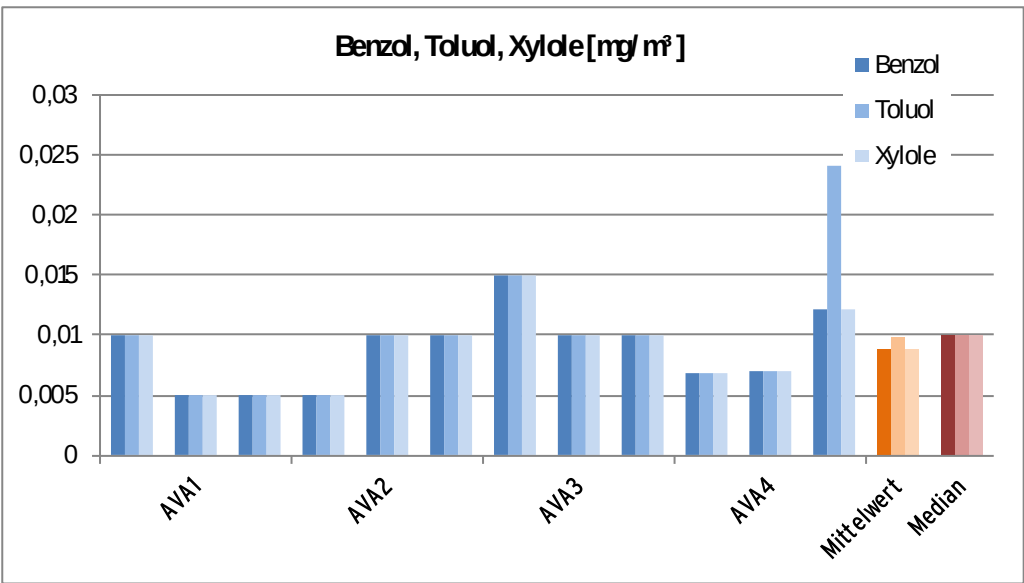
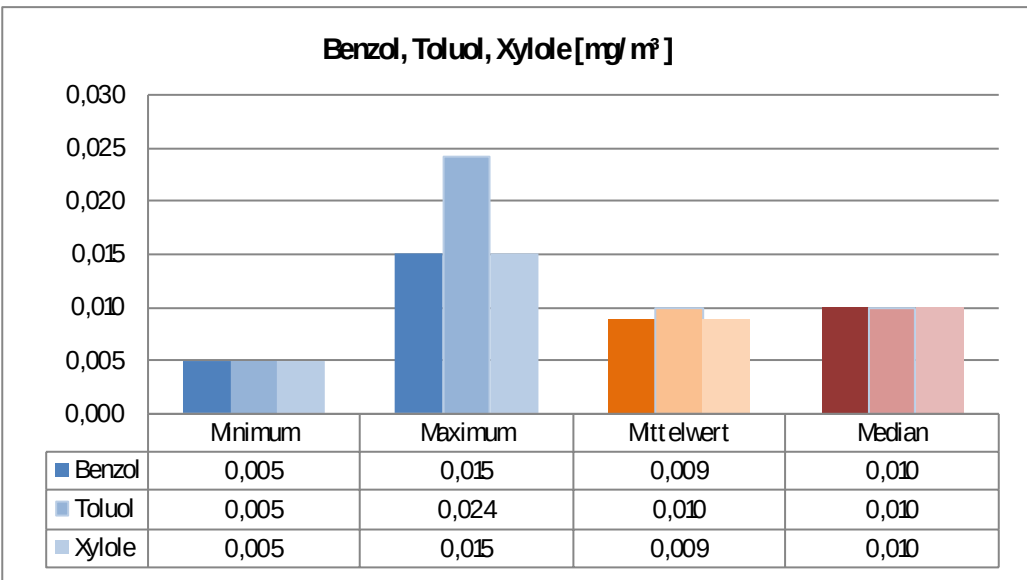


Abbildung 38: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylenen



Die im Abgas der untersuchten Altholzverbrennungsanlagen ermittelten Benzol- und Xylole-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich für die beiden Verbindungen Emissionskonzentrationen zwischen 0,005 mg/m³ und 0,015 mg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,009 mg/m³ und der Median 0,010 mg/m³.

In einer von zwölf Proben wurde eine Toluol-Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt. Es wurden Toluol-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,005 mg/m³ und 0,024 mg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,010 mg/m³ und der Median ebenfalls 0,010 mg/m³.

5.3.3 PentaCBz- und HexaCBz -Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 39: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz

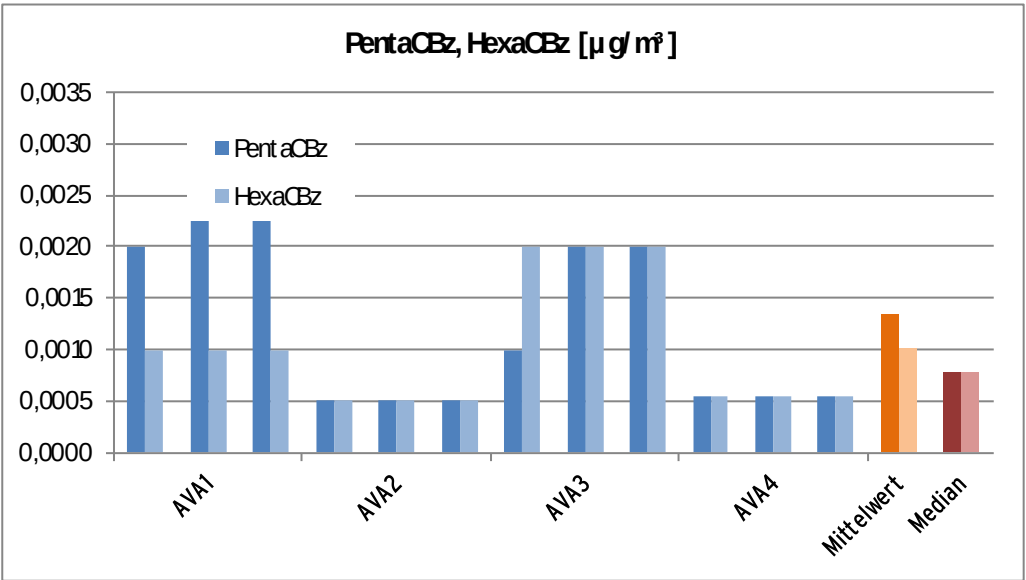
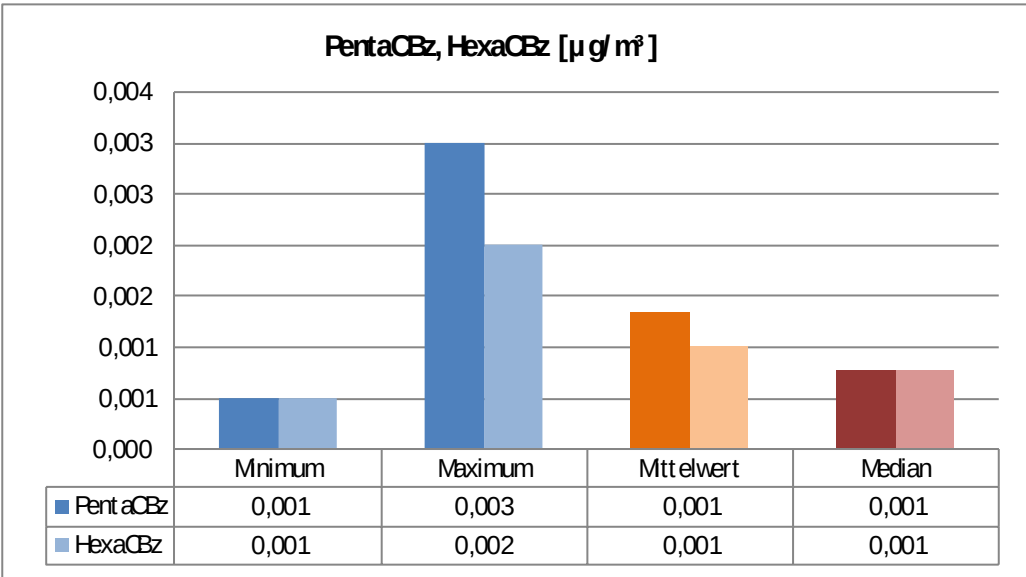


Abbildung 40: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz



Im Abgas der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen wurden PentaCBz-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,001 µg/m³ und 0,003 µg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,001 µg/m³ und der Median ebenfalls 0,001 µg/m³. In sechs von zwölf Proben wurde eine PentaCBz -Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Die ermittelten HexaCBz -Konzentrationen variieren im Bereich zwischen 0,01 µg/m³ und 0,002 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,000 µg/m³ und der Median 0,001 µg/m³. In sechs von zwölf Proben wurden HexaCBz -Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

5.3.4 Perfluorooctansulfonat- und polychlorierte Naphthalin-Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 41: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN

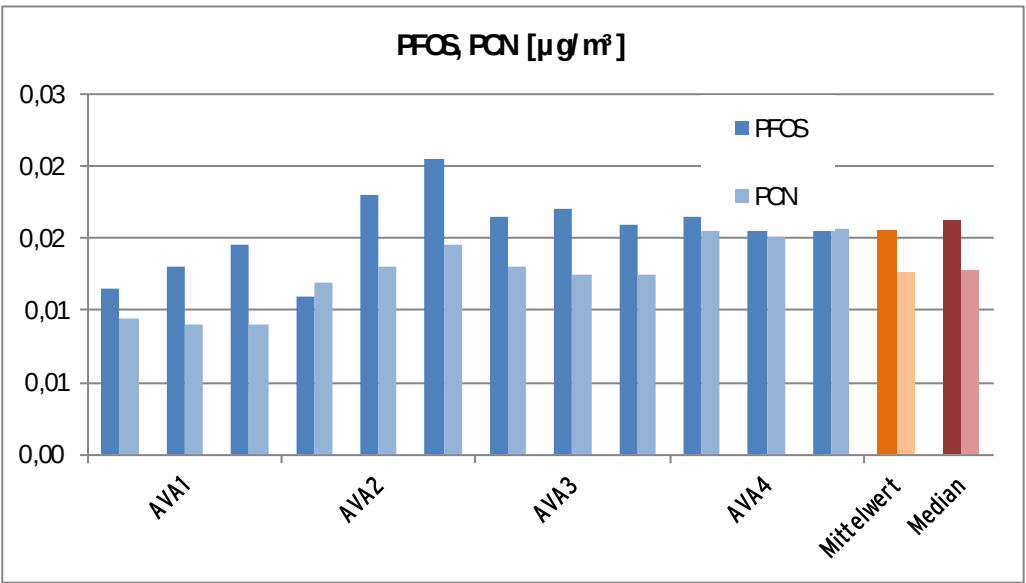
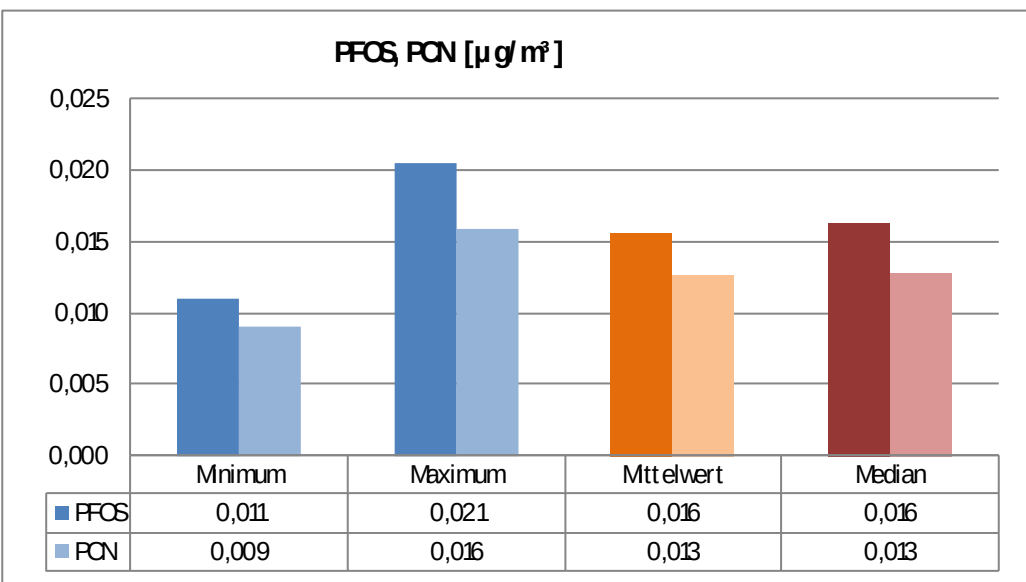


Abbildung 42: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN



Die im Abgas der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen ermittelten PFOS-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich Emissionskonzentrationen zwischen 0,011 µg/m³ und 0,021 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,016 µg/m³ und der Median ebenfalls 0,016 µg/m³.

Auch die PCN-Konzentrationen lagen alle unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich Emissionskonzentrationen zwischen $0,009 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,016 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Mittelwert und der Median betragen jeweils $0,013 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.3.5 PAK-Emissionen aus Altholzverbrennungsanlagen

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 43: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PAK

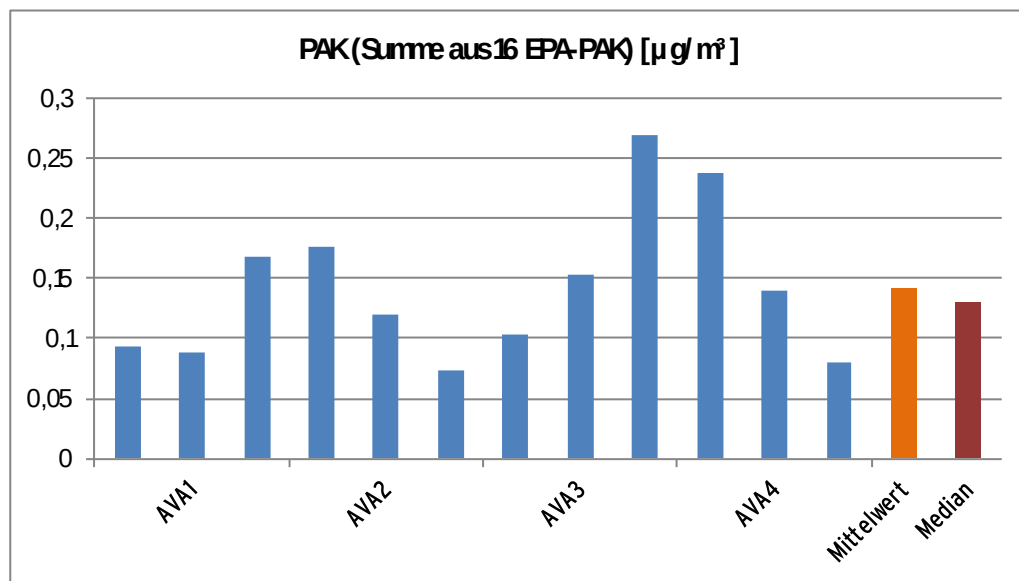
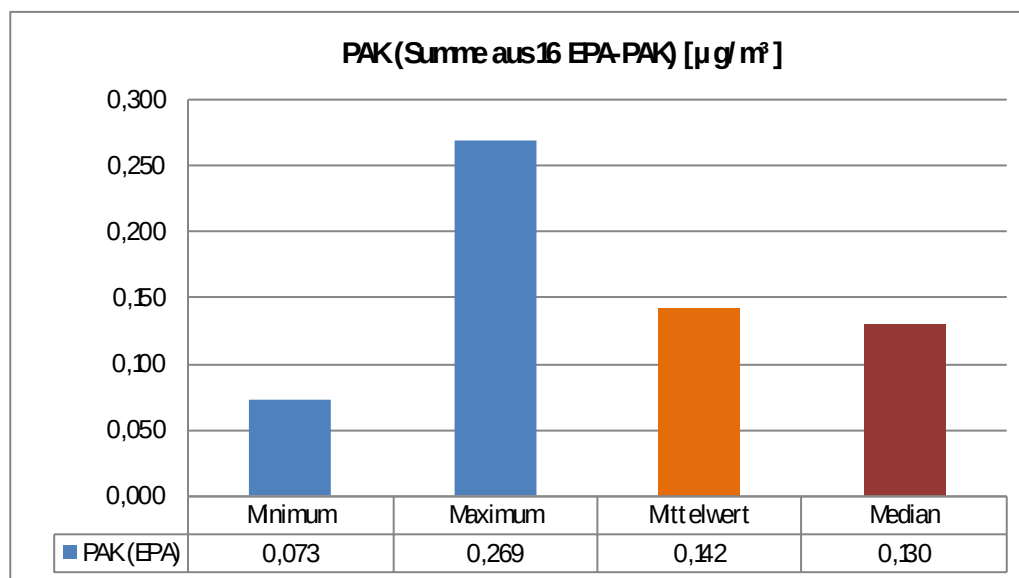


Abbildung 44: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK



Im Abgas der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen wurden PAK-Konzentrationen (Summe aus 16 EPA-PAK) im Bereich zwischen $0,073 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,269 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der Mittelwert beträgt $0,142 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median $0,130 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In allen der zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 45: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P

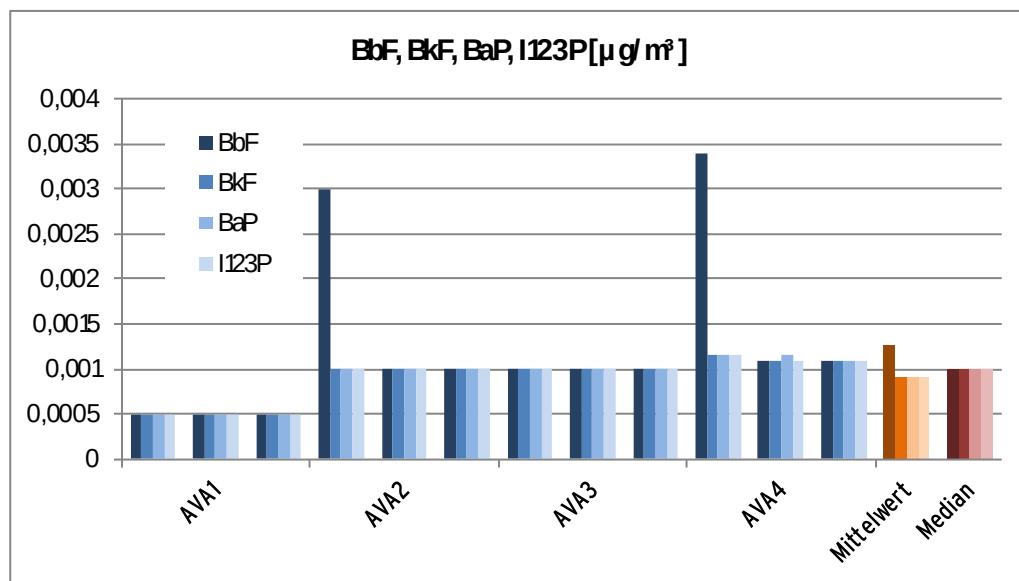
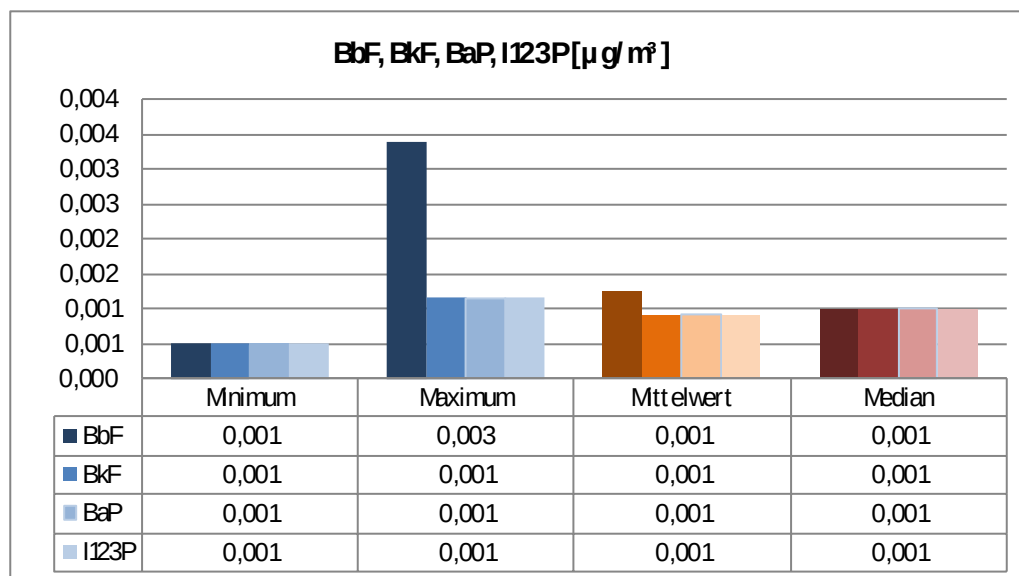


Abbildung 46: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P



In einer von zwölf Proben der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen wurde eine BbF-Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt. Die BbF-Konzentrationen variieren im Bereich zwischen 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und 0,003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Mittelwert beträgt 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median ebenfalls 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die ermittelten BkF-, BaP- und I123P-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich für alle drei Verbindungen Emissionskonzentrationen um 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Mittelwert beträgt 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median ebenfalls 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.4 Krematorien

Die im Abschnitt 5.1 aufgeführten Abbildungen zeigen die Ergebnisse der vier untersuchten Krematorien, sowie die Minima, die Maxima, die Mittelwerte und die Mediane.

5.4.1 PCDD/F- und dioxinähnliche PCB-Emissionen aus Krematorien

Die TEF-Werte wurden unter Verwendung der Äquivalenzfaktoren entsprechend WHO-TEF 2005 berechnet. Sofern Einzelkomponenten unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurden diese bei der Summenbildung mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 47: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB

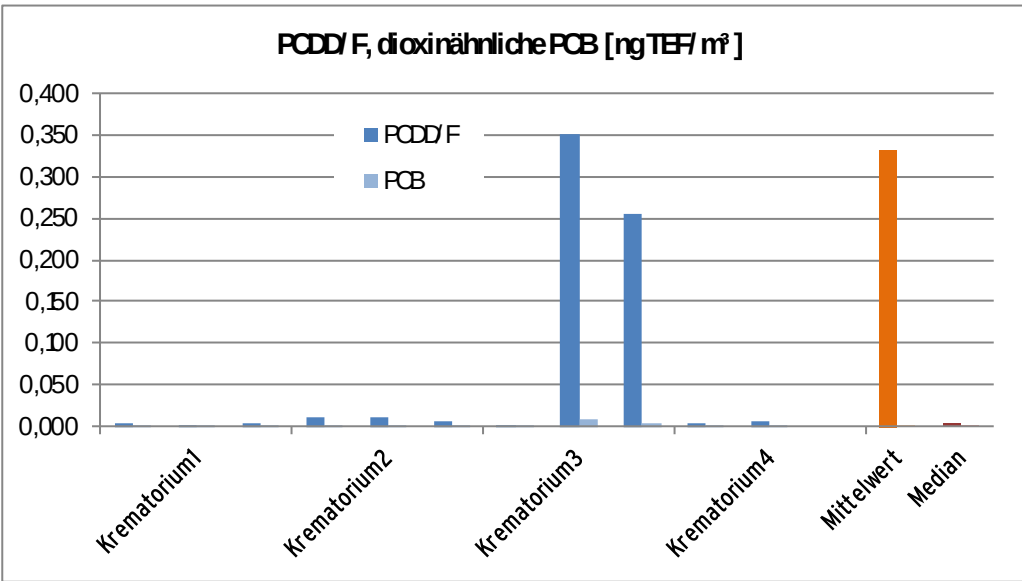
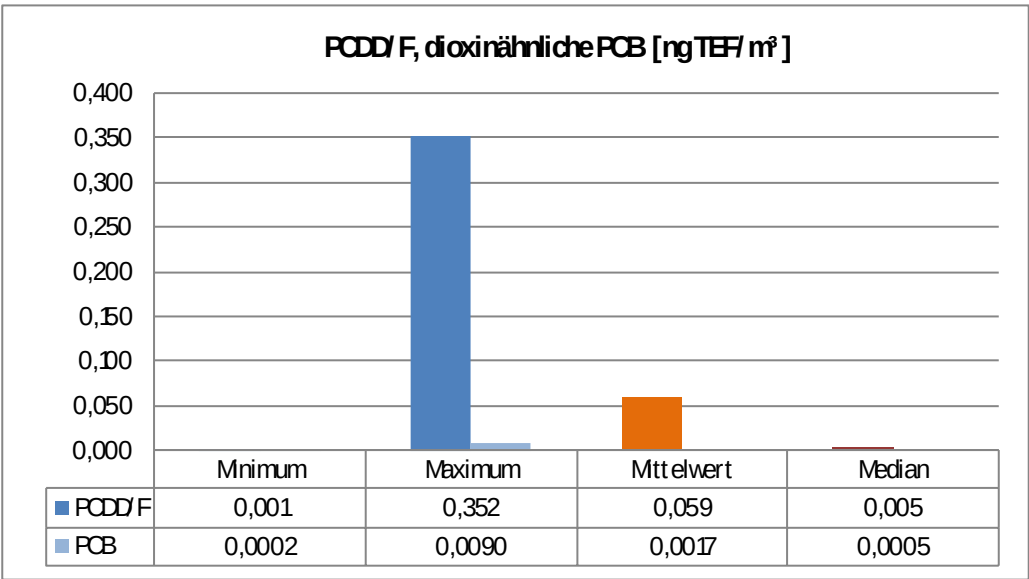


Abbildung 48: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB



Im Abgas der vier untersuchten Krematorien wurden PCDD/F-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,001 ng TEF/m³ und 0,352 ng TEF/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,059 ng TEF/m³ und der Median 0,005 ng TEF/m³. In allen der elf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze. An einem Krematorium gab es bei zwei

Probenahmen Überschreitungen des Grenzwertes von 0,1 ng TEF/m³. Ursache war die Übersättigung bzw. der Durchbruch eines Feststoffadsorbers mit Schadstoffen. Dies wird in der Regel dadurch vermieden, dass die Adsorber nach einer bestimmten Betriebszeit ausgetauscht bzw. regeneriert werden. Obwohl die ermittelte maximale Standzeit des Adsorbers zum Messzeitpunkt noch nicht erreicht war, war der Durchbruch bereits erfolgt. Dies zeigt, dass der Anlagenbetrieb offensichtlich einen Einfluss auf die Standzeit des Adsorbers hat. Da vergleichbare Vorkommnisse nicht ausgeschlossen sind, wurden die beiden Ergebnisse mit in die Auswertung einbezogen.

Neben den Dioxinen und Furanen wurden auch dioxinähnliche PCB untersucht. Es wurden Konzentrationen im Bereich zwischen 0,0002 ng TEF/m³ und 0,0090 ng TEF/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,0017 ng TEF/m³ und der Median 0,0005 ng TEF/m³. In zwei von elf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

5.4.2 BTX-Emissionen aus Krematorien

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 49: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylole

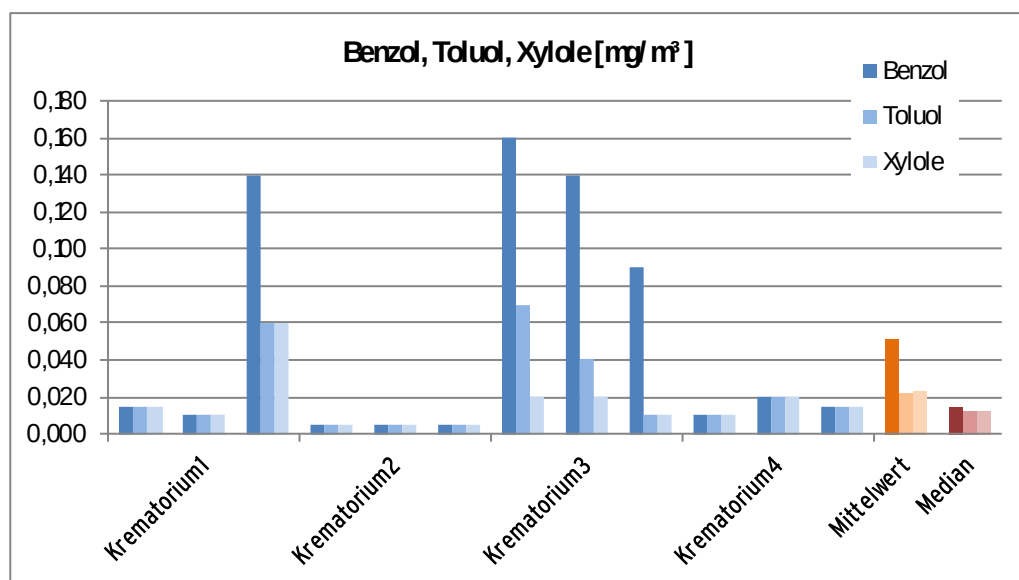
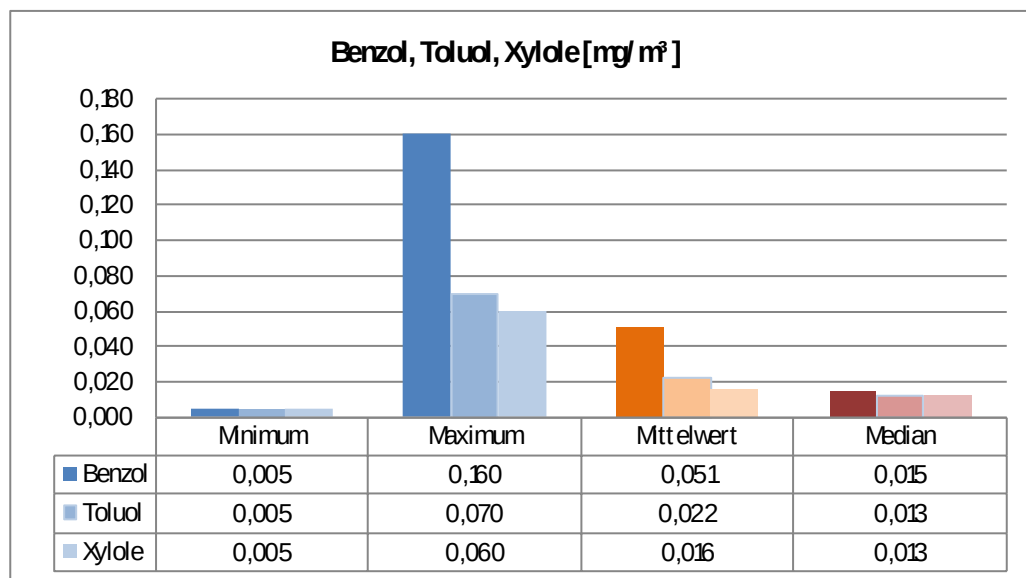


Abbildung 50: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Benzol, Toluol und Xylolen



Im Abgas der vier untersuchten Krematorien wurden in vier von zwölf Proben Benzol-Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenzen festgestellt. Die Konzentrationen lagen im Bereich zwischen 0,005 mg/m³ und 0,160 mg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,051 mg/m³ und der Median 0,015 mg/m³.

Die im Abgas der untersuchten Krematorien ermittelten Benzol- und Xylol-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen.

Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich für Toluol Emissionskonzentrationen zwischen 0,005 mg/m³ und 0,070 mg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,022 mg/m³ und der Median 0,013 mg/m³.

Für Xylol errechnen sich Emissionskonzentrationen zwischen 0,005 mg/m³ und 0,060 mg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,016 mg/m³ und der Median 0,013 mg/m³.

5.4.3 PentaCBz- und HexaCBz -Emissionen aus Krematorien

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 51: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz

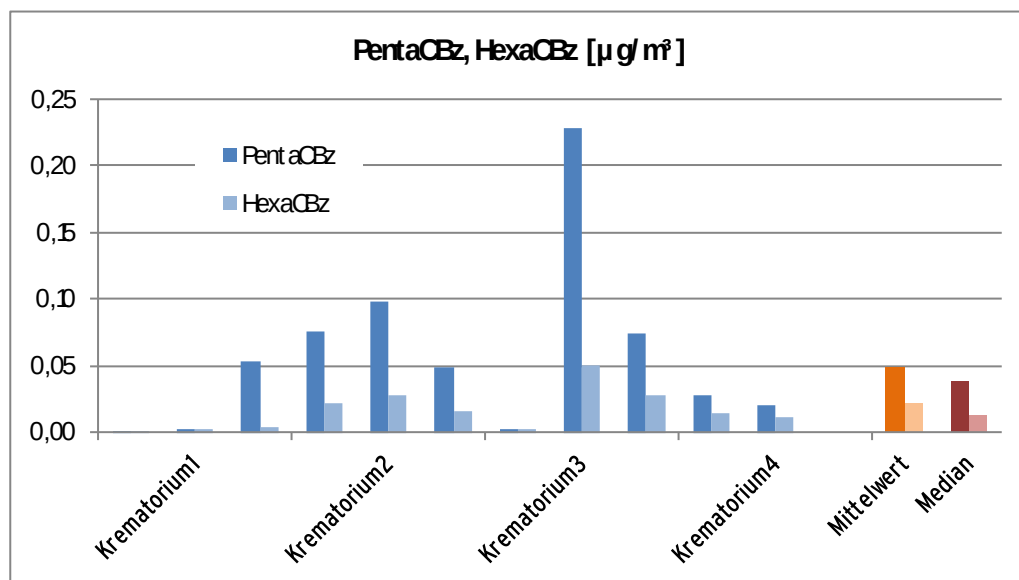
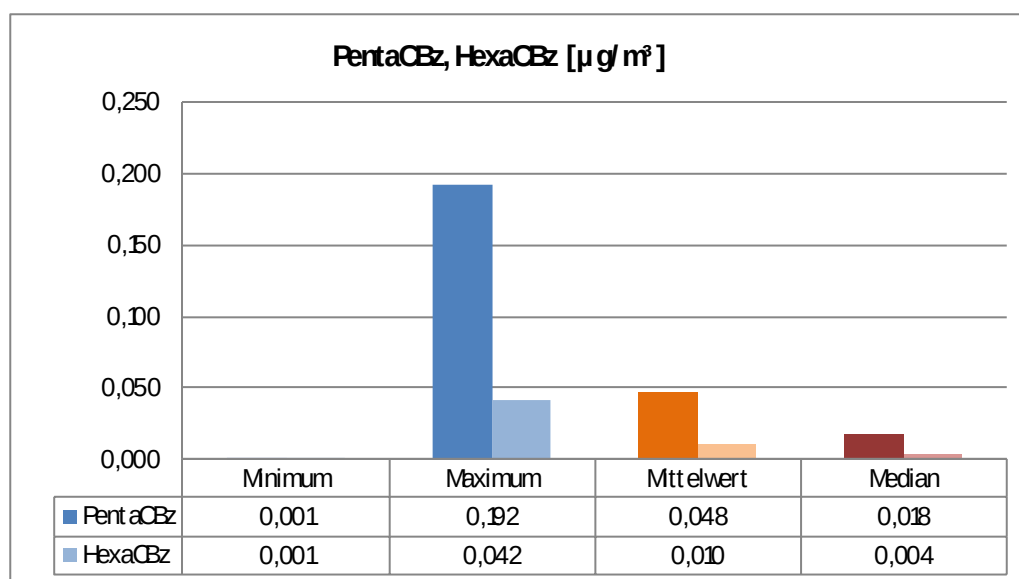


Abbildung 52: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PentaCBz und HexaCBz



Im Abgas der vier untersuchten Krematorien wurden PentaCBz-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,001 µg/m³ und 0,192 µg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,048 µg/m³ und der Median 0,018 µg/m³. In acht von elf Proben wurde eine PentaCBz -Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Die ermittelten HexaCBz -Konzentrationen variieren im Bereich zwischen 0,001 µg/m³ und 0,042 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,010 µg/m³ und der Median 0,004 µg/m³. In sieben von elf Proben wurden HexaCBz -Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

5.4.4 Perfluorooctansulfonat- und polychlorierte Naphthalin-Emissionen aus Krematorien

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 53: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN

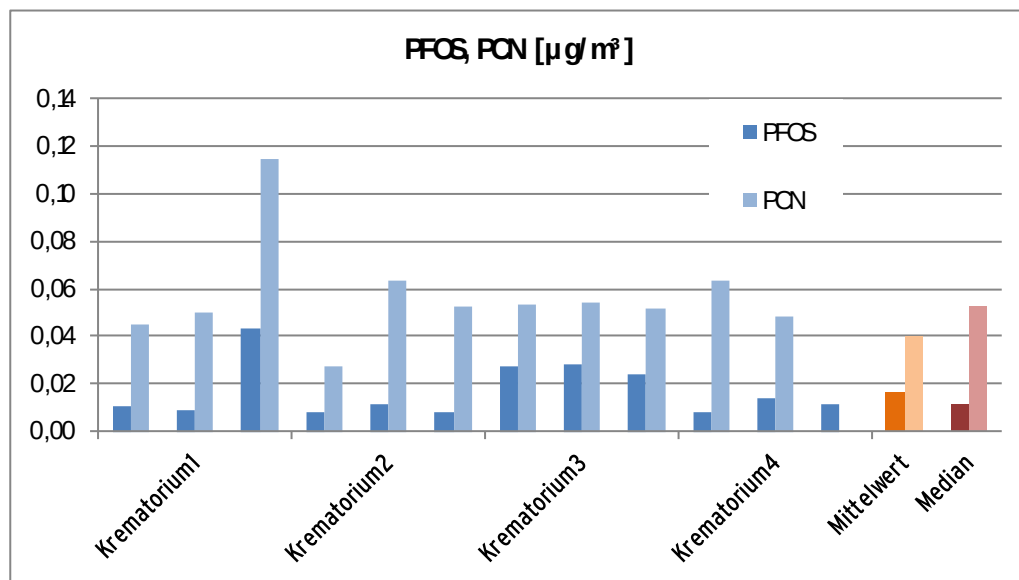
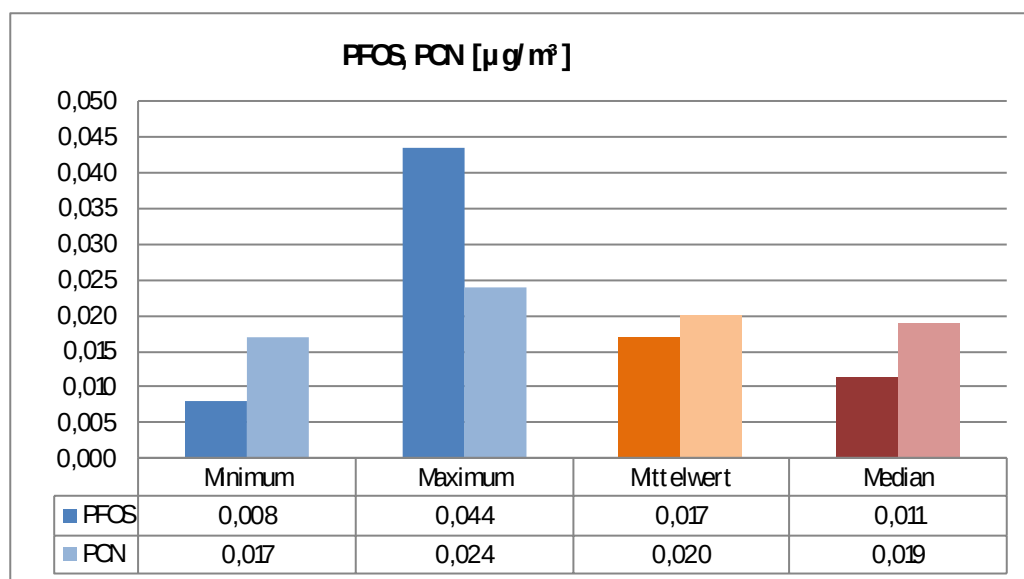


Abbildung 54: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PFOS- und PCN



Die im Abgas der vier untersuchten Krematorien ermittelten PFOS-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich Emissionskonzentrationen zwischen 0,008 µg/m³ und 0,044 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,017 µg/m³ und der Median ebenfalls 0,011 µg/m³.

In einer von elf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten PCN-Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze. Somit berechnen sich überwiegend auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen Emissionskonzentrationen zwischen 0,017 µg/m³ und 0,024 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,020 µg/m³ und der Median 0,019 µg/m³.

5.4.5 PAK-Emissionen aus Krematorien

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 55: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von PAK

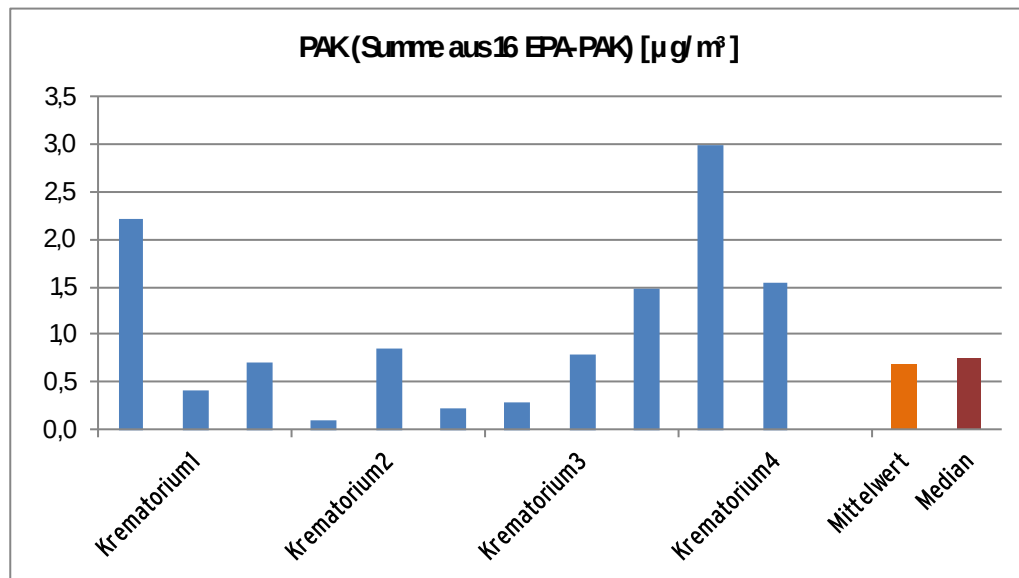
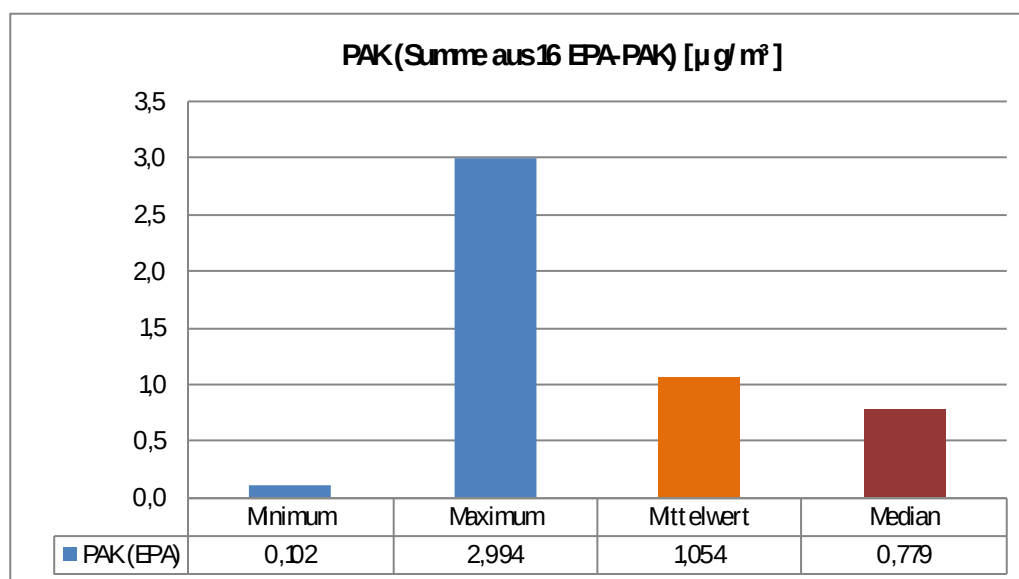


Abbildung 56: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK



Im Abgas der vier untersuchten Krematorien wurden PAK-Konzentrationen (Summe aus 16 EPA-PAK) im Bereich zwischen $0,102 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $2,994 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der Mittelwert beträgt $1,054 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median $0,779 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In zehn von zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 57: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P

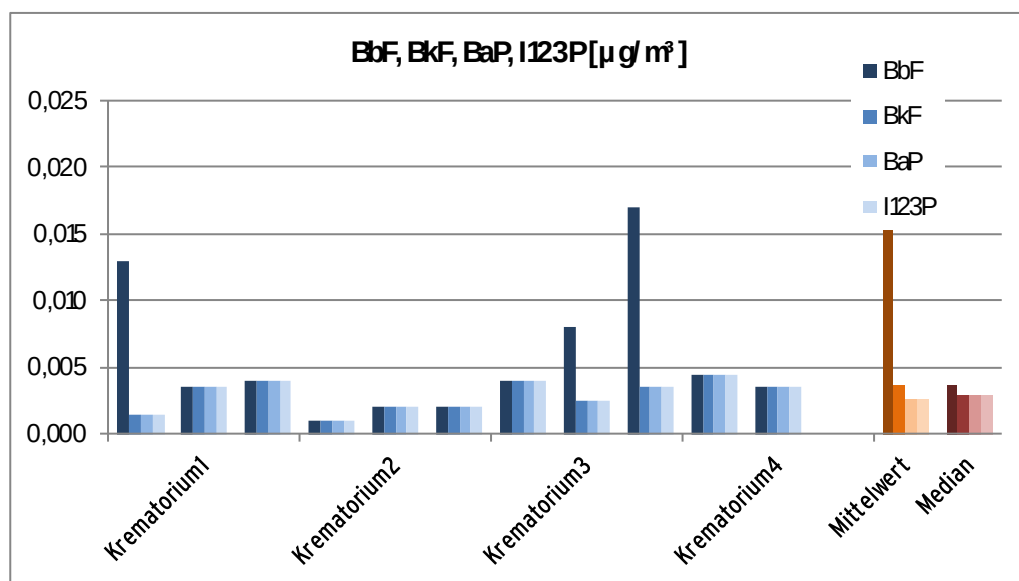
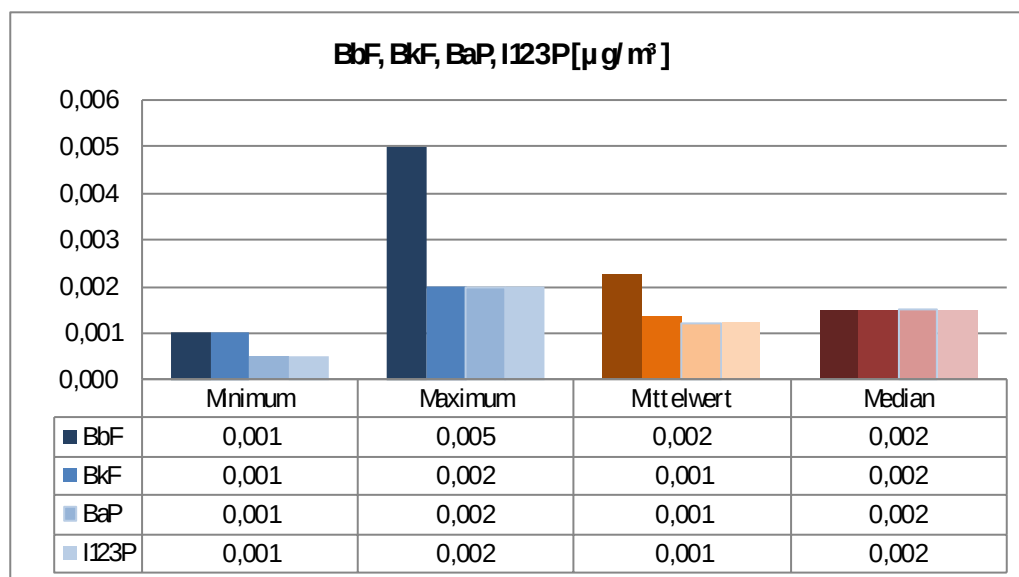


Abbildung 58: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von BbF, BkF, BaP, I123P



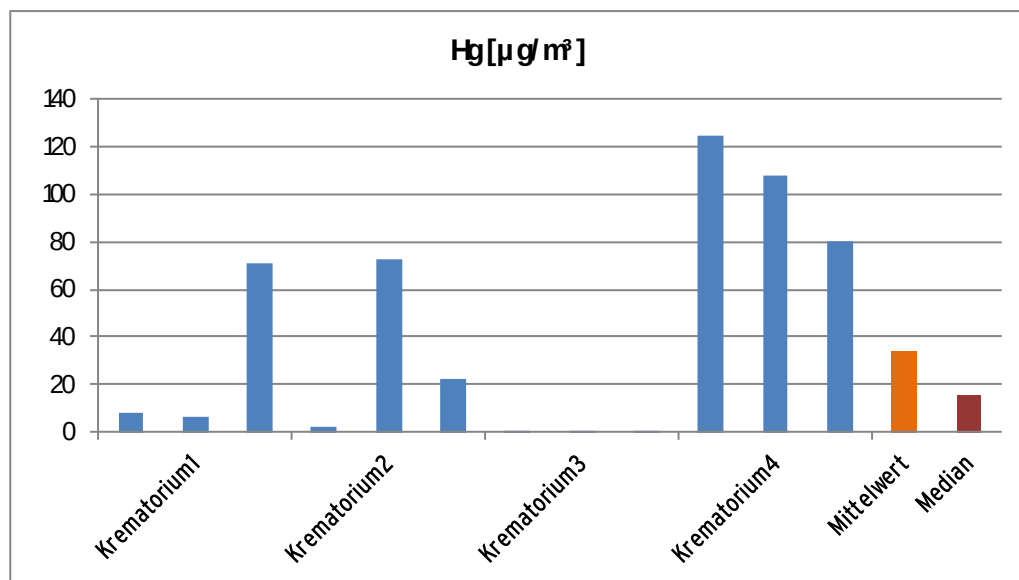
In vier von elf Proben der vier untersuchten Krematorien wurden BbF-Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt. Die BbF-Konzentrationen variieren im Bereich zwischen 0,001 µg/m³ und 0,005 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,002 µg/m³ und der Median ebenfalls 0,002 µg/m³.

Die ermittelten BkF-, BaP- und I123P-Konzentrationen lagen in allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Auf Basis von 50 % der Bestimmungsgrenzen berechnen sich für alle drei Verbindungen Emissionskonzentrationen zwischen 0,001 µg/m³ und 0,002 µg/m³. Der Mittelwert beträgt 0,001 µg/m³ und der Median 0,002 µg/m³.

5.4.6 Quecksilber-Emissionen aus Krematorien

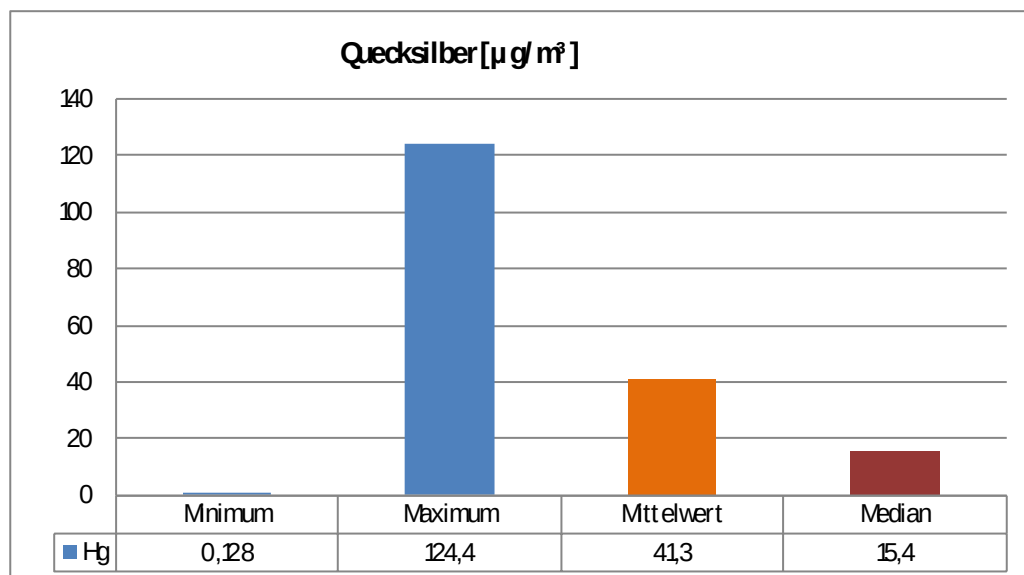
In den nachfolgenden Abbildungen wurden Einzelkomponenten die bei der analytischen Auswertung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen mit 50% der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Abbildung 59: Einzelergebnisse, Mittelwerte und Mediane von Hg



Durch die Art der Abgasreinigung beim Krematorium 3 (Gewebefilter und Festbettadsorber mit Aktivkohle) liegen die Hg-Emissionskonzentrationen signifikant unterhalb der Hg-Konzentrationen der anderen Krematorien.

Abbildung 60: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von Hg



Im Abgas der vier untersuchten Krematorien wurden Hg-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,128 µg/m³ und 124,4 µg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 41,3 µg/m³ und der Median 15,4 µg/m³. In zehn von zwölf Proben lagen die Hg-Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

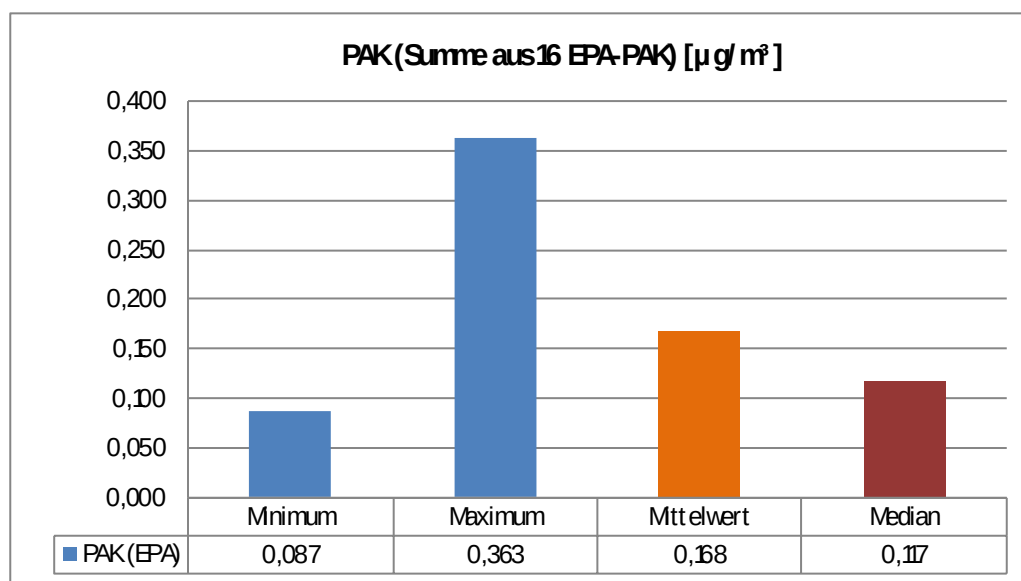
6 Diskussion der Ergebnisse

6.1 Vergleich der Anlagen

6.1.1 Vergleich der Abfallverbrennungsanlagen (MVA)

6.1.1.1 Vergleich der Messergebnisse - MVA

Im Vergleich der vier untersuchten Abfallverbrennungsanlagen scheint die MVA 2 für alle untersuchten POPs die niedrigsten Emissionskonzentrationen aufzuweisen. Grund könnte der hier eingesetzte Aktivkohlereaktor in der Abgasreinigung sein (siehe Abbildung 11, Abbildung 13, Abbildung 15, Abbildung 19, Abbildung 20: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK



Im Abgas der vier untersuchten Abfallverbrennungsanlagen wurden PAK-Konzentrationen (Summe aus 16 EPA-PAK) im Bereich zwischen 0,087 µg/m³ und 0,363 µg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,168 µg/m³ und der Median 0,117 µg/m³. In neun von zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 21)

Die MVA 3 hat im Vergleich zur MVA 2 ein ähnlich niedriges Emissionsniveau an PCDD/F. Hier wird Natriumbikarbonat und Aktivkohle als Sorptionsmittel eingesetzt. Auffallend ist jedoch, dass das Emissionsniveau von PentaCBz, HexaCBz, PAK und BbF über dem der drei anderen MVA liegt.

MVA 1 und MVA 2 haben bezüglich der Abscheidung organischer Verbindungen eine vergleichbare Trockensorptionsstufe. An beiden Anlagen wird Kalkhydrat und Herdofenkoks als Sorptionsmittel eingesetzt. Bei allen untersuchten Komponenten ist ein vergleichbares Emissionsniveau festzustellen. PCDD/F und Toluol liegen bei beiden Anlagen etwas oberhalb der Bestimmungsgrenzen.

6.1.1.2 Vergleich von Messergebnissen und Literaturwerten – MVA

Nachfolgend erfolgt eine Gegenüberstellung der im Rahmen dieses Projektes ermittelten 12 Messwerten, mit den in Kapitel 2.2.1 dargestellten Literaturwerten.

Tabelle 71. Vergleich von PCDD/F-Messergebnissen und PCDD/F-Literaturwerten – MVA

	Literaturwerte	Messwerte	alle Werte	Stabw.
--	----------------	-----------	------------	--------

	[ng TEF/m³]	[ng TEF/m³]	[ng TEF/m³]
Minimum	0,0005	0,0005	0,0005
Maximum	0,0400	0,0130	0,0400
Mittelwert	0,0052	0,0062	0,0054 ± 0,0063
Median	0,0023	0,0069	0,0030

Die Mittelwerte der Literaturwerte und der im Rahmen des UFO-Projektes ermittelten Messwerte zeigen eine gute Übereinstimmung. Für weitere Betrachtungen wird der über alle 78 Werte gemittelte Wert für PCDD/F von 0,0054 ng TEF/m³ verwendet.

Tabelle 72. Vergleich von PAK-Messergebnissen und PAK-Literaturwerten – MVA

	Literaturwerte [µg/m³]	Messwerte [µg/m³]	alle Werte [µg/m³]	Stabw.
Minimum	0,07	0,09	0,07	
Maximum	10,94	0,36	10,94	
Mittelwert (32)	1,38	0,17	0,96	± 2,14
Mittelwert (26)	0,26	0,17	0,22	± 0,22
Median	0,19	0,12	0,16	

Die Literaturwerte und die im Rahmen des UFO-Projektes ermittelten Messwerte weisen eine breite Streuung auf. Wesentlich beeinflusst wird diese Streuung durch die Messergebnisse von zwei Mülllinien einer Anlage aus dem Jahr 2012. Für weitere Betrachtungen wird der über alle 26 Messergebnisse gemittelte Wert für die Summe der PAK von 0,022 µg/m³ verwendet, d.h. ohne Berücksichtigung der 6 auffälligen Werte.

Tabelle 73. Vergleich von PentaCBz-Messergebnissen und PentaCBz-Literaturwerten – MVA

	Literaturwerte [µg/m³]	Messwerte [µg/m³]	alle Werte [µg/m³]	Stabw.
Minimum	0,002	0,001	0,001	
Maximum	0,042	0,192	0,192	
Mittelwert	0,012	0,048	0,025	± 0,041
Median	0,004	0,018	0,006	

Die im Rahmen des UFO-Projektes ermittelten Messwerte liegen um Faktor 4 über den Literaturwerten. Da auch die Literaturwerte als pausibel eingestuft werden können, wird für weitere Betrachtungen der über alle 35 Werte gemittelte Wert für PentaCBz von 0,025 µg/m³ verwendet.

Tabelle 74. Vergleich von HexaCBz-Messergebnissen und HexaCBz-Literaturwerten – MVA

	Literaturwerte [µg/m³]	Messwerte [µg/m³]	alle Werte [µg/m³]	Stabw.
Minimum	0,001	0,001	0,001	
Maximum	0,013	0,042	0,042	
Mittelwert	0,004	0,010	0,007	± 0,0083
Median	0,004	0,004	0,004	

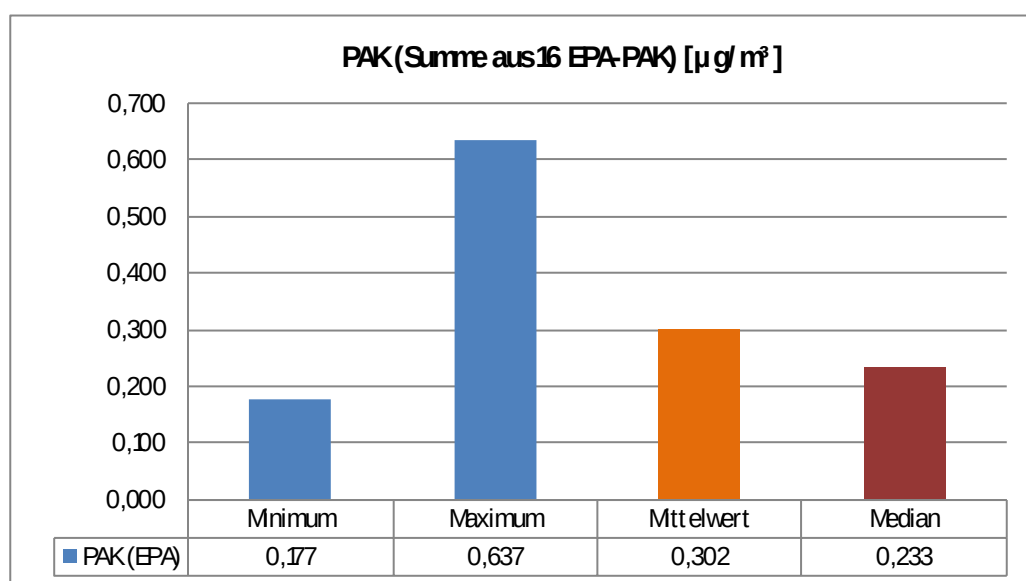
Die im Rahmen des UFO-Projektes ermittelten Messwerte liegen um Faktor 2,5 über den Literaturwerten. Da auch die Literaturwerte als plausibel eingestuft werden können, wird für weitere Betrachtungen der über alle 41 Werte gemittelte Wert für HexaCBz von $0,007 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verwendet.

Ein Vergleich von weiteren Schadstoffkomponenten wird nicht durchgeführt, da einerseits zu wenig Literaturwerte vorliegen oder andererseits die Ergebnisse sehr stark durch die Bestimmungsgrenzen beeinflusst werden.

6.1.2 Vergleich der Ergebnisse der Klärschlammverbrennungsanlagen (KVA)

6.1.2.1 Vergleich der Messergebnisse - KVA

Im Vergleich der vier untersuchten Klärschlammverbrennungsanlagen ist keine Anlage zu erkennen, die sich hinsichtlich der Emissionssituation deutlich von den anderen Anlagen abhebt. Die in den Abbildungen (siehe Abbildung 23, Abbildung 25, Abbildung 27, Abbildung 29, Abbildung 31, Abbildung 32: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK



Im Abgas der vier untersuchten Klärschlammverbrennungsanlagen wurden PAK-Konzentrationen (Summe aus 16 EPA-PAK) im Bereich zwischen $0,177 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,637 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der Mittelwert beträgt $0,302 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Median $0,233 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In allen der zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 33) vermeintlich auftretenden Unterschiede der Emissionskonzentrationen, sind fast ausschließlich auf die unterschiedlichen Absaugvolumina bei den Probenahmen zurückzuführen.

Lediglich bei den PAK, von denen in allen Proben einzelne Verbindungen nachgewiesen wurden, gab es geringe, jedoch nicht signifikante Unterschiede.

6.1.2.2 Vergleich von Messergebnissen und Literaturwerten – KVA

Nachfolgend erfolgt eine Gegenüberstellung der im Rahmen dieses Projektes ermittelten 12 Messwerten, mit den in Kapitel 2.2.2 dargestellten Literaturwerten.

Tabelle 75. Vergleich von PCDD/F-Messergebnissen und PCDD/F-Literaturwerten – KVA

	Literaturwerte [ng TEF/m³]	Messwerte [ng TEF/m³]	alle Werte [ng TEF/m³]	Stabw.
--	-------------------------------	--------------------------	---------------------------	--------

Minimum	0,0004	0,0003	0,0003
Maximum	0,0021	0,0010	0,0021
Mittelwert	0,0008	0,0007	0,0008 ± 0,0004
Median	0,0007	0,0008	0,0007

Die Mittelwerte der Literaturwerte und der im Rahmen des UFO-Projektes ermittelten Messwerte zeigen eine gute Übereinstimmung. Für weitere Betrachtungen wird der über alle 33 Werte gemittelte Wert für PCDD/F von 0,0008 ng TEF/m³ verwendet.

Ein Vergleich von weiteren Schadstoffkomponenten wird nicht durchgeführt, da einerseits zu wenig Literaturwerte vorliegen oder andererseits die Ergebnisse sehr stark durch die Bestimmungsgrenzen beeinflusst werden.

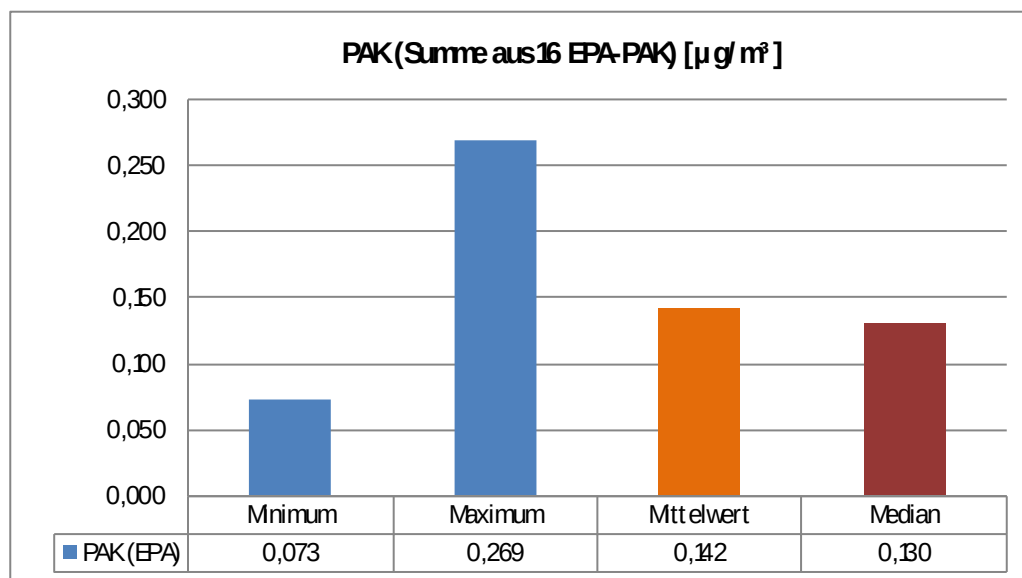
6.1.3 Vergleich der Ergebnisse der Altholzverbrennungsanlagen (AVA)

6.1.3.1 Vergleich der Messergebnisse - AVA

Im Vergleich der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen scheint die AVA 3 insbesondere im Hinblick auf die PCDD/F die niedrigsten Emissionskonzentrationen aufzuweisen. Da sich die Anlage nicht wesentlich von den anderen Rostfeuerungen (AVA 2 und AVA 3) unterscheidet, könnte der Grund im Adsorptionsmittel der Trockensorption liegen (Abbildung 35)

Die AVA 2 und AVA 4 zeigen bezüglich der PCDD/F, der dioxinähnlichen PCB und der PAK ein wechselndes Emissionsverhalten, wenn auch auf niedrigem Niveau. Die Ursache hierfür ist nicht eindeutig.

Sehr augenscheinlich wird das Ergebnis am Beispiel des Benzo-b-fluoranthens (BbF), das in dem Summenwert der PAKs enthalten ist. Die Abbildung 44: Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane von PAK



Im Abgas der vier untersuchten Altholzverbrennungsanlagen wurden PAK-Konzentrationen (Summe aus 16 EPA-PAK) im Bereich zwischen 0,073 µg/m³ und 0,269 µg/m³ ermittelt. Der Mittelwert beträgt 0,142 µg/m³ und der Median 0,130 µg/m³. In allen der zwölf Proben lagen einzelne der im Summenwert zusammengefassten Verbindungen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 45 zeigt jeweils für die Messung 1 bei AVA 2 und AVA 4 eine deutlich erhöhte BbF-Konzentration. Allerdings täuscht die Abbildung etwas, denn bei den weiteren Messungen wird das

dargestellte Ergebnis mit 50 % der Bestimmungsgrenze gerechnet. Ausgehend von der Annahme, dass bei den zweiten Messungen möglicherweise eine Konzentration knapp unter der Bestimmungsgrenze vorlag, würde der Konzentrationsverlauf in der Darstellung nicht mehr so ausgeprägt erscheinen und analog dem der PAK sein.

Die AVA 4 ist anders als die anderen Anlagen als Wirbelschichtfeuerung ausgeführt und besitzt eine deutlich höhere Feuerungswärmeleistung. Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Emissionen ist lediglich bei der Emission von PentaCBz festzustellen. PentaCBz lag gegenüber den Rostfeuerungen in allen drei Proben deutlich oberhalb der Bestimmungsgrenze.

6.1.3.2 Vergleich von Messergebnissen und Literaturwerten – AVA

Nachfolgend erfolgt eine Gegenüberstellung der im Rahmen dieses Projektes ermittelten 12 Messwerten, mit den in Kapitel 2.2.3 dargestellten Literaturwerten.

Tabelle 76. Vergleich von PCDD/F-Messergebnissen und PCDD/F-Literaturwerten – AVA

	Literaturwerte [ng TEF/m³]	Messwerte [ng TEF/m³]	alle Werte [ng TEF/m³]	Stabw.
Minimum	0,0005	0,0004	0,0004	
Maximum	0,0100	0,0110	0,0110	
Mittelwert	0,0041	0,0044	0,0042	± 0,0032
Median	0,0040	0,0050	0,0042	

Die Mittelwerte der Literaturwerte und der im Rahmen des UFO-Projektes ermittelten Messwerte zeigen eine gute Übereinstimmung. Für weitere Betrachtungen wird der über alle 30 Werte gemittelte Wert für PCDD/F von 0,0042 ng TEF/m³ verwendet.

Ein Vergleich von weiteren Schadstoffkomponenten wird nicht durchgeführt, da einerseits zu wenig Literaturwerte vorliegen oder andererseits die Ergebnisse sehr stark durch die Bestimmungsgrenzen beeinflusst werden.

6.1.4 Vergleich der Ergebnisse der Krematorien

6.1.4.1 Vergleich der Messergebnisse - Krematorien

Im Vergleich der vier untersuchten Krematorien zeigen sich hinsichtlich der Emissionskonzentrationen die deutlichsten Unterschiede. Die Abgasreinigung der Linie 1 des Krematorium 1 scheint für alle untersuchten Schadstoffkomponenten geeignet zu sein. Gegenüber den anderen Kremationslinien ergeben sich vergleichbare oder niedrigere Emissionskonzentrationen. Zur Abgasreinigung werden neben dem üblichen Gewebefilter auch noch ein Verdampfungskühler (vorgeschaltet) und ein TiO₂/V₂O₅-Katalysator eingesetzt.

Die Kremationslinien Linie 2 des Krematorium 1, Krematorium 2 und Krematorium 4 zeigen insgesamt ein vergleichbares Emissionsverhalten. Hier werden Gewebefilter mit nachgeschaltetem Aktivkohleabsorber (Linie 2 Krematorium 1) oder katalytisch wirksame Gewebefilter zur Abgasreinigung eingesetzt. Die Wirksamkeit bei der Abscheidung organischer Verbindungen ist insgesamt gut, für Quecksilber-Emissionen ausreichend.

Das Krematorium 3 mit einem Festbettabsorber mit Kaliumjodid-imprägnierter Aktivkohle, weist reingasseitig die niedrigsten Hg-Emissionskonzentrationen auf. Allerdings ist die Abscheidung organischer Verbindungen im Messzeitraum nicht ausreichend gewesen. Bei den PCDD/F kam es zu Grenzwertüberschreitungen. Da auch an anderen Krematorien PCDD/F-Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes ermittelt wurden, werden diese Ergebnisse bei der Mittelwertbildung weiter berücksichtigt.

6.1.4.2 Vergleich von Messergebnissen und Literaturwerten – Krematorien

Nachfolgend erfolgt eine Gegenüberstellung der im Rahmen dieses Projektes ermittelten 12 Messwerten, mit den in Kapitel 2.2.4 dargestellten Literaturwerten.

Tabelle 77. Vergleich von PCDD/F-Messergebnissen und PCDD/F-Literaturwerten – Krematorien

	Literaturwerte [ng TEF/m ³]	Messwerte [ng TEF/m ³]	alle Werte [ng TEF/m ³]	Stabw.
Minimum	0,001	0,001	0,001	
Maximum	0,180	0,352	0,352	
Mittelwert	0,042	0,059	0,046	0,076
Median	0,010	0,005	0,008	

Die Mittelwerte der Literaturwerte und der im Rahmen des UFO-Projektes ermittelten Messwerte zeigen insgesamt eine gute Übereinstimmung. Für weitere Betrachtungen wird der über alle 47 Werte gemittelte Wert für PCDD/F von 0,046 ng TEF/m³ verwendet.

Ein Vergleich von weiteren Schadstoffkomponenten wird nicht durchgeführt, da einerseits zu wenige Literaturwerte vorliegen oder andererseits die Ergebnisse sehr stark durch die Bestimmungsgrenzen beeinflusst werden.

6.1.5 Vergleich der untersuchten Anlagentypen

Abfallverbrennungsanlagen, Klärschlammverbrennungsanlagen und Altholzverbrennungsanlagen werden rechtlich über die 17. BImSchV reglementiert. Die einzuhaltenden Emissionsgrenzwerte sind für diese Anlagentypen überwiegend einheitlich. Ein Vergleich der Anlagentypen auf Basis der durchgeführten Messungen ist schwierig, da ein Großteil der Messergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenzen der zu untersuchenden Schadstoffe lag. Tendenziell trifft das für die Klärschlammverbrennungsanlagen noch etwas umfangreicher zu, als für Abfall- und Altholzverbrennungsanlagen. So liegt die im Mittel gemessene Konzentration an PCDD/F mit 0,0008 ng TEF/m³ deutlich niedriger als der Mittelwert der anderen Anlagentypen. Zu beachten ist dabei jedoch, dass die Klärschlammverbrennungsanlagen hinsichtlich ihrer Feuerungswärmeleistung häufig kleiner sind, als die anderen Anlagentypen. Somit könnten die geringeren spezifischen Emissionen auf die effektivere Abgasreinigung, aber auch auf die einfachere Regelbarkeit der Anlagen zurückzuführen sein.

Die Kremationsanlagen lassen sich mit den anderen Anlagentypen nur schwer vergleichen. Unabhängig davon ist festzustellen, dass es bezüglich der Einhaltung der in der 27. BImSchV festgeschriebenen Grenzwerte vereinzelt Probleme gibt. Dies ist sicher darauf zurückzuführen, dass kleinere Anlagen bestehen, deren Abgasreinigung z.B. abhängig von ermittelten Standzeiten gewartet bzw. getauscht wird. Hier sind durchaus Risiken gegeben, erhöhte Emissionskonzentrationen verspätet z.B. erst im Rahmen der nächsten wiederkehrenden Emissionsmessung zu bemerken.

6.2 Abschätzung von Emissionsfaktoren

Anmerkung: Die Ermittlung von Emissionsfaktoren ist auf Basis der durchgeführten Untersuchungen in vielen Fällen mit einer sehr hohen Messunsicherheit behaftet. Je kleiner das Datenkollektiv und je häufiger Messergebnisse auf der Basis der halben Bestimmungsgrenze ermittelt wurden, desto größer wird in der Regel die Messunsicherheit. In vielen Fällen ist daher von einer möglichen Messunsicherheit von 100 % bezogen auf die angegebene Konzentration auszugehen.

6.2.1 Emissionsfaktoren für Abfallverbrennungsanlagen

Die Emissionsfaktoren für die Abfallverbrennungsanlagen beziehen sich auf den Brennstoffeinsatz. Für die Berechnung werden die Massenströme der Anlagen MVA1 bis MVA3 herangezogen. MVA4 wird nicht berücksichtigt, da es sich um eine EBS-Anlage handelt, deren Abfälle einen höheren Heizwert aufweisen und der Brennstoffdurchsatz nicht genau bekannt ist. Diese Vorgehensweise wird auch durch den Vergleich von Mess- und Literaturwerten gestützt. Hier lagen die Literaturwerte insgesamt etwas niedriger als die Messwerte der vier Anlagen.

Ausgehend von einem Mülldurchsatz im Messzeitraum von 35 t/h in MVA1, 9,6 t/h in MVA2 und 5,95 t/h in MVA3 und den in Tabelle 24, Tabelle 27 und Tabelle 30 dargestellten Massenströmen, ergeben sich die in der Tabelle 78 dokumentierten Emissionsfaktoren.

Tabelle 78. Emissionsfaktoren – Abfallverbrennungsanlagen

Schadstoff	Einheit	MVA1	MVA2	MVA3	Mittelwert
Benzol	[g/t]	0,098	0,110	0,078	0,095
Xylole	[g/t]	0,062	0,110	0,078	0,083
Toluol	[g/t]	0,20	0,11	0,08	0,13
HexaCBz	[mg/t]	0,035	0,004	0,224	0,088
PentaCBz	[mg/t]	0,208	0,004	1,018	0,410
PFOS	[mg/t]	0,130	0,052	0,038	0,073
PCN	[mg/t]	0,114	0,122	0,123	0,119
BbF	[mg/t]	0,008	0,009	0,028	0,015
BkF	[mg/t]	0,008	0,009	0,009	0,009
BaP	[mg/t]	0,008	0,009	0,004	0,007
I123P	[mg/t]	0,008	0,009	0,004	0,007
PAK (EPA)	[mg/t]	0,65	0,59	2,27	1,17
PCDD/F (TEF)	[µg/t]	0,047	0,009	0,007	0,021
PCB (TEF)	[µg/t]	0,002	0,001	0,002	0,001

6.2.2 Emissionsfaktoren für Klärschlammverbrennungsanlagen

Die Emissionsfaktoren für die Klärschlammverbrennungsanlagen beziehen sich auf den Brennstoffeinsatz. Für die Berechnung werden die Massenströme der Anlagen KVA1 bis KVA4 herangezogen.

Ausgehend von einem Klärschlammdurchsatz (bezogen auf die Trockensubstanz) im Messzeitraum von 2,7 t_{TS}/h in KVA1, 2,1 t_{TS}/h in KVA2, 3,1 t_{TS}/h in KVA3 und 3,2 t_{TS}/h in KVA4 und den in Tabelle 36, Tabelle 39, Tabelle 42 und Tabelle 45 dargestellten Massenströmen, ergeben sich die in der Tabelle 79 dokumentierten Emissionsfaktoren.

Tabelle 79. Emissionsfaktoren – Klärschlammverbrennungsanlagen

Schadstoff	Einheit	KVA1	KVA2	KVA3	KVA4	Mittelwert
Benzol	[g/t TS]	0,08	0,14	0,22	0,07	0,13
Xylole	[g/t TS]	0,08	0,14	0,22	0,07	0,13
Toluol	[g/t TS]	0,08	0,14	0,22	0,07	0,13
HexaCBz	[mg/t TS]	0,004	0,010	0,013	0,006	0,008
PentaCBz	[mg/t TS]	0,004	0,010	0,013	0,006	0,008
PFOS	[mg/t TS]	0,14	0,21	0,20	0,17	0,18
PCN	[mg/t TS]	0,09	0,26	0,36	0,19	0,23
BbF	[mg/t TS]	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
BkF	[mg/t TS]	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
BaP	[mg/t TS]	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
I123P	[mg/t TS]	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02
PAK (EPA)	[mg/t TS]	1,0	5,0	3,2	1,3	2,6
PCDD/F (TEF)	[µg/t TS]	0,004	0,004	0,010	0,005	0,006
PCB (TEF)	[µg/t TS]	0,001	0,002	0,003	0,001	0,002

6.2.3 Emissionsfaktoren für Altholzverbrennungsanlagen

Die Emissionsfaktoren für die Altholzverbrennungsanlagen beziehen sich auf den Brennstoffeinsatz. Für die Berechnung werden die Massenströme der Anlagen AVA1 bis AVA4 herangezogen.

Ausgehend von einem Altholzdurchsatz im Messzeitraum von 14,8 t/h in AVA1, 12,3 t/h in AVA2, 5,5 t/h in AVA3 und 4,9 t/h in AVA4 und den in Tabelle 48, Tabelle 51, Tabelle 54 und Tabelle 57 dargestellten Massenströmen, ergeben sich die in der Tabelle 80 dokumentierten Emissionsfaktoren.

Tabelle 80. Emissionsfaktoren – Altholzverbrennungsanlagen

Schadstoff		AVA1	AVA2	AVA3	AVA4	Mittelwert
Benzol	[g/t]	0,036	0,125	0,067	0,065	0,074
Xylol	[g/t]	0,036	0,125	0,067	0,065	0,074
Toluol	[g/t]	0,036	0,125	0,067	0,096	0,081
HexaCBz	[mg/t]	0,005	0,007	0,018	0,004	0,008
PentaCBz	[mg/t]	0,014	0,007	0,013	0,004	0,009
PFOS	[mg/t]	0,065	0,242	0,130	0,128	0,141
PCN	[mg/t]	0,045	0,191	0,100	0,119	0,114
BbF	[mg/t]	0,002	0,022	0,007	0,014	0,011
BkF	[mg/t]	0,002	0,014	0,007	0,009	0,008
BaP	[mg/t]	0,002	0,013	0,007	0,008	0,008
I123P	[mg/t]	0,002	0,014	0,007	0,009	0,008
PAK (EPA)	[mg/t]	0,587	1,827	1,072	1,175	1,165
PCDD/F (TEF)	[µg/t]	0,030	0,116	0,007	0,021	0,043
PCB (TEF)	[µg/t]	0,000	0,005	0,002	0,004	0,003

6.2.4 Emissionsfaktoren für Krematorien

Die Emissionsfaktoren für die Krematorien beziehen sich auf eine durchschnittliche Betriebsstunde je Ofenlinie. Ein anderer Bezug ist für Krematorien nicht sinnvoll bzw. nicht passend. Für die Berechnung werden die Massenströme der Anlagen Krematorium 1 bis Krematorium 4 aus Tabelle 61, Tabelle 64, Tabelle 67 und Tabelle 70 herangezogen.

Tabelle 81. Emissionsfaktoren – Krematorien

Komponente		Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
Benzol	[g/h]	0,005	0,340	0,083	0,030
Xylol	[g/h]	0,005	0,045	0,022	0,018
Toluol	[g/h]	0,005	0,150	0,034	0,018
HexaCBz	[mg/h]	0,001	0,110	0,030	0,030
PentaCBz	[mg/h]	0,001	0,480	0,094	0,060
PFOS	[mg/h]	0,005	0,060	0,025	0,018
PCN	[mg/h]	0,025	0,155	0,076	0,065
BbF	[mg/h]	0,001	0,030	0,009	0,005
BkF	[mg/h]	0,001	0,010	0,004	0,003
BaP	[mg/h]	0,001	0,010	0,004	0,003
I123P	[mg/h]	0,001	0,010	0,004	0,003
PAK (EPA)	[mg/h]	0,150	7,300	1,768	0,890
PCDD/F	[µg/h]	0,001	0,74	0,121	0,010
PCB (TEF)	[µg/h]	0,0002	0,0200	0,0032	0,0006
Hg	[mg/h]	0,222	334,04	74,439	11,509

