

L I S - B e r i c h t e

Nr.40

Schwermetallemissionen
bei der Verbrennung
kommunaler Klärschlämme

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6

D-4300 Essen 1

1983

ISSN 0720-8499

Schwermetallemissionen bei der
Verbrennung kommunaler Klärschlämme

G. Bröker und B. Schilling

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

Zusammenfassung

Summary

1. Einleitung
2. Zusammensetzung der Klärschlämme
3. Zielsetzung der Untersuchungen
4. Beschreibung der untersuchten Anlagen
 - 4.1. Verbrennungsanlage A
 - 4.2. Verbrennungsanlage B
5. Emissionsmessungen und Betriebsproben
6. Darstellung der Ergebnisse
 - 6.1. Ergebnisse der Emissionsmessungen
 - 6.2. Analysenwerte der Betriebsproben
 - 6.3. Bilanzierung der Stoffströme
 - 6.4. Spezifische Emissionen und Emissionsgrad
 - 6.5. Anreicherungsverhalten der Spurenelemente
 - 6.6. Abschätzung der Staub-Immission

Schrifttum

Bildanhang

SCHWERMETALLEMISSIONEN BEI DER VERBRENNUNG KOMMUNALER KLÄRSCHLÄMME

G. Bröker und B. Schilling

Z u s a m m e n f a s s u n g

Bei der Klärschlammverbrennung finden die Schwermetallemissionen im Hinblick auf die Erfordernisse zur Reinhaltung der Luft besondere Beachtung. Zur Abschätzung der Emissionsmassenströme wurden an zwei Anlagen mit unterschiedlichen Abgasreinigungssystemen Emissionsmessungen durchgeführt; die erste Anlage ist mit einem Venturiwäscher, die zweite Anlage ist mit einem Elektro-Filter und einem Kugelbettwäscher ausgerüstet. Es hat sich gezeigt, daß mit wirk-samen Abscheideeinrichtungen die Staubkonzentration auf etwa 2 mg/m^3 zu vermindern ist; entsprechend gering ist damit auch der Emissionsmassenstrom an Spurenelementen.

S u m m a r y

Considering the requirements of air pollution control, trace elements, emitted by the combustion of municipal sewage sludges demand special attention.

In order to estimate the mass flow rates of emission, a survey was carried out at two incineration plants, equipped with different types of precipitation units; the first with a multi-cyclon and venturi-scrubber, and the second with an electrostatic precipitator and a packed scrubber.

The results showed that due to effective precipitation units, the emission of dust could be reduced to 2 mg/m^3 , the emission of trace elements being correspondingly slight.

1. Einleitung

Der fortschreitende Ausbau der Abwasserreinigung und die zunehmende Anzahl der Kläranlagen führten in den letzten Jahren zu einem starken Anstieg der zu beseitigenden Klärschlammengen.

Im Jahr 1981 fielen in der BRD in kommunalen Kläranlagen etwa $34 \cdot 10^6$ m³ Klärschlamm an [1], während für 1968 noch ein Wert von $15 \cdot 10^6$ m³ angegeben wurde [2]. Prognostizierend wird die im Jahr 1985 zu beseitigende Klärschlammmenge auf etwa $50 \cdot 10^6$ m³ abgeschätzt [1].

Zusätzlich zu den Schlämmen aus kommunalen Kläranlagen sind noch beträchtliche Mengen industrieller Klärschlämme zu handhaben, die jedoch einer besonderen Betrachtung bedürfen.

Die Schwierigkeiten der Klärschlamm-Entsorgung liegen hauptsächlich in den sehr großen Mengen, der hygienischen Bedenklichkeit und den in Klärschlämmen auftretenden Inhaltsstoffen begründet.

Bestrebungen, Klärschlämme so weit als möglich in den natürlichen Kreislauf zurückzuführen, z.B. durch Anwendung als Dünge- und Bodenverbesserungsmittel, werden begrenzt durch die hygienischen Belange und die in den letzten Jahren verstärkt aufgekommene Frage nach den im Schlamm enthaltenen Schwermetallen. Bei intensiver landwirtschaftlicher Verwertung können diese Schwermetalle durch Anreicherung zu nicht mehr tolerierbaren Konzentrationen im Boden und in Pflanzen führen.

Folglich wurde durch die Klärschlammverordnung vom 25.6.1982 das Aufbringen von Abwasserschlämmen auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden geregelt. Danach bedarf das Aufbringen der Genehmigung, wenn die Schwermetallgehalte in der Durchschnittsschlammprobe mindestens einen der folgenden Werte übersteigen:

Pb	1200 mg/kg TS
Cd	20 mg/kg TS
Cr	1200 mg/kg TS
Cu	1200 mg/kg TS
Ni	200 mg/kg TS
Hg	25 mg/kg TS
Zn	3000 mg/kg TS
TS:	Trockensubstanz

Darüberhinaus wird durch die Verordnung die maximal zulässige Menge Klärschlamm pro Hektar festgelegt. Weitere Einschränkungen sind bei Überschreitung bestimmter Grenzwert-Konzentrationen in Böden gegeben.

Neben der landwirtschaftlichen Verwertung sind als bedeutsame Entsorgungsmöglichkeit die Deponierung und die Verbrennung der Klärschlämme zu nennen.

Die Ablagerung der Klärschlämme auf Deponien kann insbesondere bei unsachgemäßer Ausführung und in dichtbesiedelten Gebieten zu Geruchsbelästigungen führen. Es wird zudem schwieriger, geeignete Deponieflächen für diese Art der Entsorgung in ausreichendem Umfang bereitzustellen.

Die Verbrennung hat den wesentlichen Vorteil des deutlich verringerten Bedarfs an Deponievolumen für die verbleibenden Rückstände. Negativ zu bewertende Aspekte sind jedoch der Auswurf an luftverunreinigenden Stoffen wie Stäube, Schwefeldioxid, Stickstoffoxide und andere Komponenten sowie die hohen Investitions- und Betriebskosten derartiger Anlagen.

In Tabelle 1 ist die Beseitigung der kommunalen Klärschlämme in Nordrhein-Westfalen und der Bundesrepublik zusammengestellt [1, 5].

Tabelle 1: Beseitigung kommunaler Klärschlämme

Gesamt-Klärschlamm-Menge	BRD 34 · 10 ⁶ m ³ /a	NW 12 · 10 ⁶ m ³ in 1975 (unbehandelter Rohschlamm mit durchschnittl. 95,6 % Wasser)
landwirtschaftliche Verwertung	40 %	39 %
Deponie	45 %	39 %
Verbrennung	8 %	21 %
sonstige Verfahren (Kompostierung, Verklappen usw.)	7 %	1 %

Daraus ist zu ersehen, daß der größte Anteil der Schlämme durch landwirtschaftliche Verwertung, Deponie und Verbrennung beseitigt wird. Kompostierung, Verklappung im Meer und sonstige Methoden werden demgegenüber nur in geringem Maße praktiziert.

Weiterhin ist zu erkennen, daß die Verbrennung von Schlämmen in NW größere Bedeutung aufweist als im Vergleich zum Bundesdurchschnitt. Von insgesamt 19 Verbrennungsanlagen für kommunale Klärschlämme in der Bundesrepublik haben 9 Anlagen ihren Standort in Nordrhein-Westfalen.

In den Tabellen 2 und 3 sind die bestehenden Verbrennungsanlagen, in denen kommunale Klärschlämme sowie zum Teil Rechen- und Sandfanggut eingesetzt werden, aufgelistet. Anlagen mit gemeinsamer Verbrennung von Hausmüll und Klärschlamm wurden dabei nicht erfaßt.

Tabelle 2: Klärschlamm-Verbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen

Lfd. Nr.	Standort Betreiber	Inbetriebnahme	Schlammart	Ofentyp	Anzahl Öfen	Durchsatz pro Ofen t/h	TS vor Ofen	Abgasreinigung	Anlagen-Hersteller
1	Bochum, Ruhrverband	1974	biologisch Frisch-	Wirbelschicht-	2	2,5 (TS)	30 %	Multizyklon + Venturi	Thyssen
2	Düsseldorf-Nord, Stadt Düsseldorf	1967 1969 1982		Drehrohr-Drehrohr-Etagen-	1 1 1	1,5 1,5 10		Nachverbrennung, E-Filter + Absorber	Babcock Passavant
3	Düsseld.-Süd, Stadt Düsseldorf	1975	biologisch Faul-	Etagen-	1	9 Filterkuchen	50 %	Nachverbrennung E-Filter	Passavant
4	Bonn Stadt Bonn	1981	Faul- u. Frisch-	Wirbelschicht-	2	5,5 (entwässert)	25 %	E-Filter	Raschka
5	Wuppertal, Wupperverband	1977	Faul-	Wirbelschicht-	2	11,5 (entwässert)	20- 22 %	E-Filter + Wäscher	Thyssen
6	Bottrop, Emschergenossenschaft	1979	Belebt-	Wirbelschicht-	1	5,5 (entwässert)	40- 50 %	E-Filter + Venturi	Raschka
7	Kleve, Stadt Kleve	1975	Frisch-	Wirbelschicht-	1	2,3 (Filterkuchen)		Radialstromwäscher (m. geklärtem Abwasser)	Lurgi
8	Düren, Abwasserverband Rur	1975	Frisch-	Wirbelschicht	1	4,7 (entwässert)		Radialstromwäscher	Lurgi
9	Köln, Stadt Köln	1964		Drehrohr-	1	2			Babcock (BKMI)

Tabelle 3: Klärschlamm-Verbrennungsanlagen in der Bundesrepublik mit Ausnahme von NW

Lfd. Nr.	Standort Betreiber	Inbetriebnahme	Schlammart	Ofentyp	Anzahl Öfen	Durchsatz pro Ofen t/h	% TS vor Ofen	Abgasreinigung	Anlagen-Hersteller
1	Karlsruhe, Stadt Karlsruhe	1982		Wirbel Schicht-	1				Raschka
2	Stuttgart, Stadt Stuttgart	1981		Wirbel-schicht	1				Raschka
		1962	Faul-Faul-	Etagen-Etagen-	1	6 (Filterkuchen)			Lurgi Passavant
3	Braunlage	1962	Frisch-	Etagen-	1	1 (Filterkuchen)		Wäscher	Passavant
4	Geislingen		Frisch-	Etagen-	1	2 (Filterkuchen)			Passavant
5	Göppingen, Stadt Göppingen	1969	Frisch-	Etagen-	1	5,8 (entwässert)			Lurgi
6	Kaiserslautern, Stadt Kaiserslautern	1973	Faul-	Etagen-	1	7,5 (entwässert)			Lurgi
7	Neu-Ulm, Stadt Ulm	1973	Frisch- u.	Wirbel-schicht	1	6			Thyssen
		1979	Faul-		1	7			
8	Backnang	1975	Frisch-	Wirbel-schicht-	1	3,9			Thyssen
9	Berlin	1971	Frisch-	Wirbel-schicht	3	1,3 (TS)		E-Filter	Dorr-Oliver
10	Frankfurt-Sindlingen	1980		Etagen-Wirbler	3	8,5 (entwässert)	25	2-stufiges E-Filter, 2-stufiger Radialstromwäscher	Lurgi

2. Z u s a m m e n s e t z u n g d e r K l ä r - s c h l ä m m e

Die zwangsläufig bei der Abwasserklärung anfallenden Rückstände in Form von Klärschlämmen weisen aufgrund der Unterschiedlichkeit der zu reinigenden Abwässer und der Reinigungsverfahren Inhaltsstoffe in unterschiedlicher Art und Menge auf. Aus der Literatur ist eine Vielzahl von Analysenwerten bekannt - auch für die in diesem Bericht besonders berücksichtigten Schwermetalle - die sich jedoch teilweise um Größenordnungen unterscheiden. Nach [4] läßt sich weder von der Anlagengröße noch vom Industrieanteil, gemessen am Einwohnergleichwert-Anteil, ein Zusammenhang mit den Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm herstellen.

Die folgende Tabelle 4 enthält Angaben über die Bandbreite der Konzentrationen einiger in Klärschlämmen enthaltener Komponenten. Die Werte wurden aus mehreren Veröffentlichungen und aus Angaben verschiedener Klärwerksbetreiber zusammengestellt.

Tabelle 4: Bandbreite veröffentlichter Analysenwerte von Klärschlämmen

Komponente	Konzentration ppm in TS
Blei	19 - 5300
Cadmium	1 - 193
Chrom	45 - 1300
Nickel	17 - 1985
Quecksilber	0,2- 11
Zink	70 - 15750
Chlor	540 - 10000
Fluor	200 - 1300
Schwefel	4800 - 15000

3. Z i e l s e t z u n g d e r U n t e r s u c h u n g e n

Nachdem die Aufbringung von Klärschlämmen auf land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen beschränkt wurde, sollte abgeschätzt werden, in welchem Maß bei einer Entsorgung durch Klärschlamm-Verbrennung Schwermetalle über die Atmosphäre in die Umwelt gelangen.

Außerdem galt es, im Hinblick auf künftige Genehmigungsverfahren, einen Stand der Technik der Rauchgasreinigung bei derartigen Anlagen zu beschreiben.

Aus den zur Zeit betriebenen Anlagen wurde für die Emissionsmessungen eine Auswahl getroffen, die dadurch bestimmt wurde, daß von insgesamt neun Anlagen in NW sechs mit Wirbelschichtfeuerungen ausgerüstet sind. Die Verbrennung in Etagen- und Drehrohröfen hat daher nur eine untergeordnete Bedeutung. Nach Vorlage der ersten Meßergebnisse konnte das Untersuchungsprogramm aber auf zwei mit verschiedenen Abgasreinigungssystemen ausgerüstete Anlagen begrenzt werden, da die Werte für eine Beurteilung der Emissionssituation ausreichend erschienen.

In Ergänzung der Emissionsmessungen wurden bei beiden Anlagen Betriebsproben an verschiedenen Stellen entnommen. Die Untersuchung dieser Proben sollte Aufschluß geben über die Aufteilung der Spurenelemente auf die einzelnen Stoffströme. Außerdem wurde angestrebt, die Stoffströme zu bilanzieren, obwohl im Spurenbereich naturgemäß größere Fehler zu erwarten sind.

In den folgenden Teilen des Berichtes werden die beiden untersuchten Anlagen mit den Buchstaben A und B bezeichnet.

4. Beschreibung der untersuchten Anlagen

4.1 Verbrennungsanlage A

Die Klärschlamm-Verbrennungsanlage des Ruhrverbandes besteht aus zwei parallelen Verbrennungsstraßen mit jeweils einem Wirbelschichtofen. Zum Zeitpunkt der Messungen wurde ein Ofen betrieben, während der andere Ofen in Reserve stand.

Der eingedickte Schlamm mit etwa 8-10 % TS wird nach Zusatz von organischen Flockungs-Hilfsmitteln mittels Zentrifugen auf einen Restwassergehalt von in der Regel etwa 70-75 % entwässert und dem Ofen kontinuierlich zugegeben. Als Zusatzbrennstoff dient Heizöl EL.

Während des Meßzeitraumes wies der zu verbrennende Klärschlamm deutlich höhere Gehalte an Trockensubstanz und Glührückstand auf als dort üblicherweise vorliegen. Als Grund hierfür sind starke Regenfälle zu nennen, die durch Abschwemmung von Erde zu einem erhöhten Anteil an Inertmaterial im Schlamm führten. Die Verbrennungsleistung der Anlage betrug i.M. ca. 6,3 t/h, entsprechend einem Durchsatz an Trockensubstanz von 2,5 t/h. Zur Verbrennung kamen Primärschlamm aus der Belebungsanlage sowie Faulschlamm, der mit einem Anteil von etwa 10 % zugesetzt wurde. Rechengut und Altöle wurden in der Anlage nicht eingesetzt.

Nach der Verbrennung in der Wirbelschicht bei etwa 800°C werden die Abgase im Luftvorwärmer und dann im Vorkühler durch Eindüsung von Wasser aus dem Absetzbecken des Wäschers abgekühlt. Anschließend erfolgt die Entstaubung mittels Multizyklon und die weitere Rauchgasreinigung in einem Venturi-Wäscher. Das Waschwasser wird zur besseren Absorption der Komponenten Schwefeldioxid und gasförmiger Chlor- und Fluor-Verbindungen mittels Zusatz von Natronlauge auf einen pH-Wert von 9 eingestellt. Die Waschflüssigkeit wird im Kreislauf gefahren, wobei lediglich die Verdampfungsverluste durch Zusatz von Frischwasser ausgeglichen werden. Das wasserdampfgesättigte Abgas wird über einen 30 m hohen Kamin in die Atmosphäre abgeleitet.

Die im Vorkühler und Multizyklon abgeschiedene Flugasche wird mit dem aus dem Absetzbecken des Wäschers ausgetragenen Schlamm in einem Aschebunker zwischengespeichert und dann auf einer Deponie abgelagert. (s. Abb. 1)

4.2 Verbrennungsanlage B

Diese Anlage weist ebenfalls zwei getrennte Verbrennungsstraßen auf, von denen ein Ofen in Reserve gehalten wird. Die Anlage ist für einen Durchsatz von je 2,4 t TS/h ausgelegt. Während der Messung wurden i.M. 10 t Schlamm/h verbrannt, entsprechend etwa 2 t TS/h.

Die Abwasserbehandlung im zugehörigen Klärwerk besteht aus einer mechanischen Vorklärung und einer biologischen Reinigung in Belebungsbecken. Der gesamte anfallende Schlamm wird zunächst ausgefault und nach der Entwässerung in Zentrifugen auf ca. 20-25 % TS dem Wirbelschichtofen kontinuierlich aufgegeben. Neben Klärschlamm wird noch Rechengut verbrannt. Als Zusatzbrennstoff dient Faulgas und/oder Heizöl EL.

Die den Wirbelschichtofen verlassenden Rauchgase werden zunächst über einen Luftvorwärmer und dann wahlweise über einen Verdampfungskühler oder Dampferzeuger geführt. Zur Zeit der Messungen wurde ausschließlich der Dampfkessel betrieben.

Die Entstaubung der Rauchgase erfolgt in einem Elektrofilter. In dem nachgeschalteten Kugelbettwäscher werden mittels natron-alkalischem Waschwasser insbesondere die Komponenten HCl, HF und SO₂ ausgewaschen.

Aus dem Wäscherkreislauf wird eine bestimmte Menge Waschwassers ausgeschleust und der Verlust durch Frischwasser mit Natronlauge-Zusatz ausgeglichen. Die pH-Wert-Regelung ist im allgemeinen auf pH 9 eingestellt.

Die gereinigten Abgase werden über einen 75 m hohen Kamin abgeführt. Die im Dampfkessel und E-Filter abgeschiedene Asche wird ge-

meinsam zum Aschebunker gefördert, dort in Container abgefüllt und auf dem Kläranlagengelände deponiert. (s. Abb. 2)

5. E m i s s i o n s m e s s u n g e n u n d B e t r i e b s p r o b e n

An beiden Anlagen wurden im Reingas der Abscheideeinrichtungen folgende Komponenten bestimmt:

- gasförmige Chlor-Verbindungen
- gasförmige Fluor-Verbindungen
- Staub
- Schwefeldioxid

Außerdem wurden die O_2 - und CO_2 -Gehalte kontinuierlich registrierend gemessen.

Der Aufbau der Anlagen ließ eine parallele Messung der Emissionskomponenten in Roh- und Reingas nicht zu.

Die Probenahme für Cl- und F-Verbindungen wurde über eine beheizte Quarzsonde mit nachgeschaltetem, ebenfalls beheiztem Quarzwattfilter durchgeführt. Die Gasproben wurden in drei hintereinander geschalteten Frittenwaschflaschen in 10-normaler NaOH absorbiert.

Zur Messung der Staubkonzentration wurde nach VDI 2066 verfahren. An der Anlage A in wurde neben der Messung der Staub-Emissionskonzentration zusätzlich eine Staubsammelprobe entnommen, da die nach VDI 2066 gewonnene Probenmasse zur Bestimmung der Staubinhaltsstoffe nicht ausreichte. Die Meßanordnung ist in Abb. 3 dargestellt.

Parallel zu den Emissionsmessungen wurden Betriebsproben an verschiedenen Stellen der beiden Anlagen entnommen und analysiert:

Anlage A (vgl. Abb. 1):

- Klärschlamm vor den Zentrifugen (1)
- Klärschlamm nach Entwässerung in Zentrifugen (2)
- Zentrifugat (3)
- Asche, zusammengeführt aus Multizyklon, Vorkühler und Schlamm aus dem Absetzbecken des Venturiwäschers (4)

Anlage B (vgl. Abb. 2):

- Klärschlamm vor den Zentrifugen (1)
- Klärschlamm nach Entwässerung (2)
- Zentrifugat (3)
- Asche aus Abhitze-Kessel (4)
- Asche aus E-Filter (5)
- Ablaufwasser aus Wäscher (6)

Die in Klammern gesetzten Ziffern markieren die Probenahmestellen in den Abbildungen 1 und 2.

6. D a r s t e l l u n g d e r E r g e b n i s s e

6.1. Ergebnisse der Emissionsmessungen

In Tabelle 5 sind die Emissionsdaten der beiden Klärschlammverbrennungs-Anlagen aufgelistet. Die Zahlenangaben stellen über den Meßzeitraum gemittelte Werte dar. Es wurde jeweils an 5 bzw. 6 Tagen gemessen, wobei über den Tag verteilt mehrere Proben genommen wurden.

Zur kontinuierlichen Messung der SO_2 -Konzentration stand an Anlage A ein Gerät mit einem Meßbereich bis zu 1000 vpm zur Verfügung. Die angezeigten Werte lagen aber in der Regel am unteren Ende des Meßbereiches, so daß eine genaue Aussage zur SO_2 -Konzentration nicht möglich ist.

In der Anlage B konnte ein SO_2 -Meßgerät mit einem Meßbereich von 0-200 vpm eingesetzt werden. Bei der üblichen Fahrweise des Wäschers mit pH 8 wurden in der Regel Werte von der unteren Grenze

des Meßbereiches bis zu 20 vpm angezeigt. Bei einer kurzzeitigen, absichtlich herbeigeführten Senkung des pH-Wertes auf 6 traten Konzentrationsspitzen von ca. 400 vpm SO₂, entsprechend 1200 mg SO₂/m³, auf.

Tabelle 5: Emissionen

	Anlage A (Multizyklon und Venturi-Wäscher)	Anlage B (E-Filter und Kugelbettwäscher)
Abgasvolumenstrom:		
in m ³ /h (N.f.)	18.000	39.800
in m ³ /h (N.tr.)	10.000	28.400
in m ³ /h (N.tr. bei 11 % O ₂)	11.000	31.000
Reingasstaub:		
in mg/m ³ /N.tr. bei 11 % O ₂)	2	43
in g/h	22	1.330
gasf. Chlorverbindungen:		
in mg/m ³ (N.tr. bei 11 % O ₂)	17	10
in g/h	190	310
gasf. Fluorverbindungen:		
in mg/m ³ (N.tr. bei 11 % O ₂)	25	0,9
in g/h	275	28
Schwefeldioxid:		
in mg/m ³ (N.tr. bei 11 % O ₂)	ca. 30	ca. 30
in g/h	ca. 330	ca. 930

Auffallend ist die geringe, im Bereich der Nachweisgrenze liegende Staubkonzentration im Reingas der Anlage A, die mit Multi-zyklon und Venturi-Wäscher ausgerüstet ist. Hier mußte über einen Zeitraum von etwa 30 Stunden eine Staubsammelprobe genommen werden, um eine ausreichend große Probenmasse zur Bestimmung der Inhaltsstoffe zu gewinnen.

Die Verbrennungsanlage B wies höhere Staubkonzentrationswerte auf, so daß hier die Proben aus der Konzentrationsmessung auch zur Analyse auf die Inhaltsstoffe herangezogen werden konnten. Gesonderte Staubsammelproben waren daher nicht erforderlich.

Die Konzentrationen der Spurenelemente sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Definiert man die Relevanz einer Emission als Quotient aus Emissionsmassenstrom und einem Wirkungsparameter, so sind für die Anlage A die in Tab. 6 aufgelisteten Komponenten unter Verwendung des S-Wertes (vgl. TA-Luft 83) als Wirkungsparameter mit abnehmender Relevanz geordnet. Die gasförmigen Schadstoffe Cl^- , SO_2 und F^- sind aber hinsichtlich ihrer Relevanz im vorliegenden Fall weitaus höher einzuordnen als die in Tabelle 6 aufgeführten Elemente.

Tabelle 6: Komponenten im Reingasstaub und Emissionskonzentrationen

Komponente	Anlage A (Multizyklon und Venturi-Wäscher)		Anlage B (E-Filter und Kugelbettwäscher)	
	ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
			(i.M.)	
Cr	436	0,9	344	15
Ni	368	0,7	454	20
Pb	1135	2,3	142	6
As	195	0,4	9	0,4
Zn	8255	17	1653	71
Cd	34	0,07	35	1,5
V	-	-	18	0,8
Tl	-	-	< 4	< 0,2

6.2. Analysenwerte der Betriebsproben

In den nachfolgenden Tab. 7 und 8 sind die in den Betriebsproben analysierten Komponenten und die zugehörigen Ergebnisse zusammengestellt.

Diese Ergebnisse stellen mittlere Werte über den Gesamtzeitraum der durchgeführten Emissionsmessungen dar. Das heißt, an jedem Meßtag wurden Proben entnommen, aus allen Einzelproben eine Mischprobe hergestellt und die Mischprobe analysiert.

Mit dieser Vorgehensweise sollten bei vertretbarem Analysenaufwand möglichst repräsentative Daten der an verschiedenen Stellen in der Anlage vorliegenden Spurenelement-Konzentrationen erzielt werden.

Tabelle 7: Analysenwerte der Betriebsproben, Anlage A

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Schlamm vor Entwässerung 17,1 % TS	Schlamm nach Entwässerung 40,3 % TS	Zentrifugat	Asche
Komponente	ppm in TS	ppm in TS	mg/l	ppm
Cr	240	195	-	483
Ni	82	90	-	168
Pb	344	354	<0,1	536
As	7,7	6,6	<0,015	17,5
Zn	2327	2266	<0,005	3561
Cd	4,7	5,2	<0,01	8
V	39	43	0,008	65
Tl	0,7	0,5	-	0,9
Cl	870	540	-	1600
F	267	273	-	351
S	5360	4790	-	4200
GR	58	58	-	-

GR : Glührückstand in % der TS

() : Kennzeichnung der Probenahmestellen in Abb. 1.

Tabelle 8: Analysenwerte der Betriebsproben, Anlage B

Komponente	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
	Schlamm vor Entwässerung 2,5 % TS	Schlamm nach Entwässerung 20,3 % TS	Zentrifugat	Asche aus Kessel	Asche aus E-Filter	Waschflüssigkeit flüssige Phase	Feststoffe
	ppm in TS	ppm in TS	mg/l	ppm	ppm	mg/l	ppm
Cr	283	283	<0,1	406	768	<0,1	294
Ni	436	444	0,16	717	1184	0,08	803
Pb	289	289	<0,3	440	347	<0,3	138
As	2,1	1,7	<0,1	4,9	6,3	0,03	1,5
Zn	2543	2527	0,1	3580	5409	0,8	4243
Cd	23	24	<0,01	33	57	0,06	68
V	14	15	0,01	42	52	0,35	<150
Tl	<0,5	<0,5	<0,01	<0,5	<0,5	<0,01	<1
Cl	7470	2190	159	1190	1670	3120	-
F	1252	1302	0,5	807	1268	102	-
S	10700	11850	3,9	6550	8130	22750	-
GR	40,3 %	38,6 %	-	98,3 %	96,4 %	-	-

GR : Glührückstand in % der TS

() : Kennzeichnung der Probenahmestellen in Abb. 2

6.3. Bilanzierung der Stoffströme

Zur Klärung des Verhaltens der Spurenelemente und ihres Verbleibs in den Stoffströmen der Verbrennungsanlagen wurde versucht, Massenbilanzen zu erstellen.

Diese Bilanzierungen können nur als Abschätzungen verstanden werden, da vor allem die Entnahme von Betriebsproben aus derartig inhomogenen, zeitlich veränderlichen Stoffströmen problematisch ist. Insbesondere gilt dies für die Stoffströme Asche und Waschwasser, bei denen aufgrund der betrieblichen Gegebenheiten eine repräsentative Probenahme kaum möglich war. Zudem war eine direkte Messung der Massenströme nicht gegeben, so daß diese nur abgeschätzt werden konnten. Darüber hinaus ist auch bei der Aufarbeitung und Analyse der Proben mit systematischen Fehlern im Bereich von $\pm 10\%$ zu rechnen.

Wie aus Tabelle 9 und 10 zu ersehen ist, ergibt die Gegenüberstellung der verschiedenen Massenströme erwartungsgemäß keine 100%ige Übereinstimmung zwischen Eintrag und Austrag.

Tabelle 9: Massenbilanz Anlage A

Komponente	(2)	(4)	Emission	Austrag
	Eintrag	Austrag		Eintrag
	Ofen	Asche	g/h	g/h
	g/h	g/h	g/h	%
Cr	488	725	$9 \cdot 10^{-3}$	150
Ni	225	252	$7 \cdot 10^{-3}$	112
Pb	885	804	$23 \cdot 10^{-3}$	91
As	16,5	26,3	$4 \cdot 10^{-3}$	160
Zn	5665	5342	$165 \cdot 10^{-3}$	94
Cd	13	12	$0,7 \cdot 10^{-3}$	92
V	108	97,5	-	90
Tl	1,3	1,35	-	104

(): Kennzeichnung der Probenahmestellen in Abb. 1

Tabelle 10: Massenbilanz Anlage B

	(1)	(3)	(2)	(4)+(5)	(6)		
Komponente	Eintrag vor Zentrifuge	Austrag Zentrifugat	Eintrag Ofen	Austrag Asche (Kessel + E-Filter)	Austrag Wasch-wasser	Emission	Austrag Eintrag
	g/h	g/h	g/h	g/h	g/h	g/h	%
Cr	574	-	546	616	1	0,4	113
Ni	885	11	857	998	2,8	0,5	117
Pb	587	-	558	414	0,5	0,15	74
As	4,3	-	3,3	6	0,05	0,01	184
Zn	5162	7	4877	4720	15,2	1,83	97
Cd	47	-	46	47	0,3	0,04	103
V	28	0,7	29	50	0,5	0,02	174

(): Kennzeichnung der Probenahmestellen in Abb. 2

Bei der Verbrennung in Wirbelschichtöfen wird Sand aus dem Wirbelbett ausgetragen und zum Teil durch mineralische Anteile des Klärschlammes ersetzt. Die daraus resultierende Verfälschung der Bilanz wurde nicht quantitativ bestimmt, ist aber als gering einzuschätzen.

In der Anlage B wird zusätzlich zum Klärschlamm auch Rechengut verbrannt. Aufgrund der Inhomogenität dieses Materials war eine Entnahme und Analyse von Proben bei vertretbarem Aufwand nicht möglich. Die Zusammensetzung des Rechengutes aus vornehmlich Holz, Papier, Textil und Kunststoffen läßt vermuten, daß auf diesem Weg weitere, nicht erfaßte Stoffströme an Chlor, Fluor, Schwefel und Spurenelementen in die Anlage eingebracht wurden.

Bei der Bilanzierung der Stoffströme in der Anlage A konnte ein geringer Anteil des im Absatzbecken anfallenden Schlammes nicht berücksichtigt werden; dieser im Absatzbecken verbleibende Rest wird alle zwei bis drei Wochen manuell entfernt.

Unter Berücksichtigung der Probenahmebedingungen und des Umstandes, daß die Komponenten im Spurenbereich auftreten, sind jedoch Abweichungen im Bereich bis ca. 30 % als zufriedenstellend zu betrachten. Lediglich bei den Elementen V, Cr und As sind deutlich größere Abweichungen zu verzeichnen, deren Ursache nicht geklärt werden konnte.

6.4. Spezifische Emissionen und Emissionsgrad

Wie aus den Tabellen 9 und 10 zu ersehen ist, werden die mit dem Klärschlamm in die Verbrennungsanlage eingebrachten Schwermetalle zum überwiegenden Teil in die unverbrennbaren Rückstände eingebunden - die Emissionsmassenströme betragen demgegenüber nur einen Bruchteil der eingebrachten Substanz.

Ein Vergleich der Tabellen 11 und 12 zeigt, daß die relativen und spezifischen Schwermetall-Emissionen der Anlage A deutlich geringer sind als die der Verbrennungsanlage B, obwohl auch hier die genehmigten Emissionsgrenzwerte und die TA-Luft-Werte unterschritten wurden.

Als spezifische Emission wird hier die Emission, bezogen auf den Durchsatz an Trockensubstanz bezeichnet. Der Emissionsgrad stellt den Emissionsmassenstrom, bezogen auf den in die Anlage eingebrachten Massenstrom der jeweiligen Komponente dar.

Tabelle 11: Spezifische Emissionen und Emissionsgrad
Anlage A (Multizyklon und Venturi-Wäscher)

Komponente	spezifische Emission mg/t TS	Emissionsgrad mg/kg
Cr	3,6	18
Ni	2,8	31
Pb	9,2	26
As	1,6	242
Zn	66,0	29
Cd	0,3	54

Tabelle 12: spezifische Emissionen und Emissionsgrad
Anlage B (E-Filter und Kugelbettwäscher)

Komponente	spezifische Emission mg/t TS	Emissionsgrad mg/kg
Cr	205	725
Ni	263	592
Pb	77	265
As	5	3182
Zn	948	375
Cd	20	848
V	11	724

6.5. Anreicherungsverhalten der Spurenelemente

Als weiterer wesentlicher Punkt zur Charakterisierung des Verhaltens der Schwermetalle sollen die Konzentrationen im Verlauf des Rauchgasweges betrachtet werden.

Aus Untersuchungen an Kohlekraftwerken und Müllverbrennungsanlagen ist hinreichend bekannt, daß bestimmte Spurenelemente im Flugstaub mit abnehmender Teilchengröße zunehmend angereichert werden [6, 7].

Zur Erklärung dieses Phänomens wird angenommen, daß die bei der Verbrennung verflüchtigten Spurenelemente im Laufe des Rauchgasweges verschiedenen Mechanismen wie Sublimation, Absorption und Adsorption an den aktiven Oberflächen des Flugstaubes unterworfen sind. Aufgrund der spezifisch größeren Oberfläche und der Oberflächenaktivität feinsten Teilchen findet eine verstärkte Anlagerung und damit verbunden ein Anstieg der Konzentrationen in den feinen Kornfraktionen statt.

Es ist grundsätzlich zu fragen, ob die an Müllverbrennungsanlagen und Steinkohlenkraftwerken gewonnenen Erkenntnisse auf die Klärschlammverbrennung in Wirbelschichtöfen übertragen werden können, da hier eine andere Brennstoffzusammensetzung und auch unterschiedliche Verbrennungsbedingungen vorliegen.

Die Möglichkeit der Anreicherung der Schwermetalle kann jedoch nicht alleine aufgrund der im Vergleich zum Kraftwerk deutlich geringeren Verbrennungstemperatur ausgeschlossen werden. Der Siedepunkt der meisten Schwermetalle liegt zwar oberhalb der Verbrennungstemperatur von 800°C; nach [8] sind jedoch grundsätzlich auch andere Mechanismen der Verflüchtigung möglich. Einige Komponenten wie z.B. Pb, Ni, Tl, V, Zn, Cd und Cr können durch Reaktion mit im Brennstoff enthaltenen Halogenen in gasförmige Chloride und/oder Fluoride überführt werden.

Tabelle 13 zeigt die an der Anlage A ermittelten Konzentrationswerte der Spurenelemente und ihre Anreicherung im Vergleich zum eingesetzten Klärschlamm. Die im Klärschlamm vorliegenden

Konzentrationen wurden auf den mineralischen Anteil, ausgedrückt als Glührückstand, bezogen.

Tabelle 13: Anreicherung der Spurenelemente
Anlage A (Multizyklon und Venturi-Wäscher)

Komponente	Klärschlamm (bez. auf Glührück- stand)	Asche	Anreicherungs- faktor	Reingas- staub	Anreicherungs- faktor
	ppm	ppm		ppm	
Cr	334	483	1,5	436	1,3
Ni	154	168	1,1	368	2,4
Pb	606	536	0,9	1135	1,9
As	11	18	1,6	195	17
Zn	3880	3561	0,9	8255	2,1
Cd	9	8	0,9	34	3,8
V	74	65	0,9	-	-
Tl	0,8	0,9	1,1	-	-

Die für Cr, Ni und As ermittelten Anreicherungsfaktoren sind insofern nicht plausibel, als diese Komponenten in der Asche und im Reingasstaub jeweils angereichert werden. Auch in den Massenbilanzen für Cr und As sind größere Abweichungen zu erkennen.

Tabelle 14: Anreicherung der Spurenelemente Anlage B (E-Filter und Kugelbettwäscher)

Komponente	Klärschlamm (bezogen auf Inertsubstanz)	Asche aus Abhitzekeessel	Anreiche- rungsfaktor	Asche aus E-Filter	Anreiche- rungsfaktor	Reingas- staub	Anreiche- rungsfaktor
	ppm	ppm		ppm		ppm	
Cr	520	406	0,8	768	1,5	344	0,7
Ni	816	717	0,9	1184	1,5	454	0,6
Pb	531	440	0,8	347	0,7	142	0,3
As	3	4,9	1,6	6,3	2,1	9,2	3
Zn	4645	3580	0,8	5409	1,2	1653	0,4
Cd	44	33	0,8	57	1,3	35	0,8
V	28	42	1,5	52	1,9	18	0,6

Die an der Anlage B ermittelten Konzentrationen ergeben ein anderes Bild.

Wie aus Tabelle 14 zu ersehen ist, zeigt hier nur die Komponente Arsen eine deutliche Anreicherung. Die anderen Komponenten, mit Ausnahme von Blei, erfahren im Reingasstaub eine Abreicherung, werden aber in der E-Filterasche angereichert. Die nicht plausiblen Meßergebnisse der Komponenten Arsen und Blei, die sich in den verschiedenen Stufen des Rauchgasweges ausschließlich an- bzw. abreichern, sind auch in den Abweichungen der Massenbilanzen (Tab. 10) zu erkennen.

In Abb. 4 wurde die Konzentration der Spurenelemente im Reingasstaub in Abhängigkeit von der Staubkonzentration im Reingas der Anlage B aufgetragen. Zur Erklärung dieser interessanten, für alle Spurenelemente gleichen Kurvenverläufe sind mehrere Hypothesen denkbar; diese können aber nur spekulativ sein und werden daher hier nicht dargestellt, da notwendige Untersuchungen zur Verifizierung nicht geplant und durchgeführt wurden.

Die Betrachtung der Anreicherung der Schwermetalle im Reingasstaub zeigt erwartungsgemäß, daß die bei Kraftwerken in einer Vielzahl von Untersuchungen gemachten Erfahrungen nicht einfach auf die Verhältnisse bei der Klärschlammverbrennung mit anderen Abgasreinigungssystemen übertragen werden können.

Die Anreicherungsfaktoren bei Steinkohlekraftwerken sind erheblich höher als z.B. bei der Klärschlammverbrennung in Anlage A. Im Reingasstaub der Anlage B werden die Spurenelemente sogar abgereichert, ein grundsätzlich begrüßenswertes Verhalten. Dennoch sind die spezifischen Emissionsfaktoren für Spurenelemente bei dieser Anlage höher, da insgesamt mehr Staub emittiert wird als bei Anlage A .

6.6. Abschätzung der Staub-Immission

Es sollte der Beitrag der Klärschlammverbrennungsanlage A zur Immissionsbelastung an Schwebstaub und Staubniederschlag abgeschätzt werden. Somit wurde in Ergänzung der Emissionsuntersuchungen eine Ausbreitungsrechnung durchgeführt. Als Beurteilungsfläche wurden in einem Gebiet von 4 km x 4 km Flächen von 1 km x 1 km gewählt.

Zur Simulation der Immissionskonzentration bzw. des Staubniederschlags wurde ein Gitternetz von 500 m Maschenweite über das Beurteilungsgebiet gelegt und die Belastung für Flächen von 1 km x 1 km ermittelt.

Die Immissionssimulation des Staubniederschlages als Jahresmittelwert ergab Werte von maximal 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$.

Der Jahresmittelwert für Schwebstaub wurde zu $< 0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für alle Beurteilungsflächen berechnet. Die 95-Perzentil-Werte weisen als Maximalwert 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf; das höchste 98-Perzentil beträgt 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Weiterhin ist festzuhalten, daß das Maximum der von der Klärschlamm-Verbrennungsanlage verursachten Immission im Bereich von 1 km zum Emittenten liegt.

S c h r i f t t u m

- [1] Zeitung für Kommunale Wirtschaft, Nr. 10/Okt. 1981.
- [2] KIESS, F.:
Klärschlamm und nichtkanalisierte Abwässer.
Zur Sache 3/72, Luftreinhaltung und Abfallbeseitigung
Themen parlamentarischer Beratung.
Hrsg.: Presse- und Informationszentrum des
Deutschen Bundestages.
- [3] Thema Abfallbeseitigung im Bundestag.
Müll und Abfall, (1981), H. 9, S. 276.
- [4] El BASSAM, N. und M. DAMBROTH:
Verwertbarkeit der Abwasserschlämme für landwirtschaft-
liche Zwecke und das Problem der Schadstoffe.
Wissenschaft und Umwelt, (1981), H. 3, S. 216-220.
- [5] Statistik der öffentlichen Abwasserbeseitigung 1975.
Hrsg.: Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NW,
Düsseldorf.
- [6] DANNECKER, W.:
Schadstoffmessungen bei Müllverbrennungsanlagen.
VGB Kraftwerkstechnik, 63 (1983), H. 3, S. 237-243.
- [7] KAUTZ, K., H. KIRSCH, und D.W. LAUFHÜTTE:
Über Spurenelementgehalte in Steinkohlen und den
daraus entstehenden Reingasstäuben.
VGB Kraftwerkstechnik, 55 (1975), H. 10, S. 672-676.
- [8] KIRSCH, H., H.-J. REHME, H.-H. REICHEL, und G. SCHWARZ:
Zum Verhalten der anorganischen Substanzen bei der
Verbrennung in Wirbelschichtfeuerungen.
VGB Kraftwerkstechnik, 61 (1981), H. 6, S. 482-492.

B i l d a n h a n g

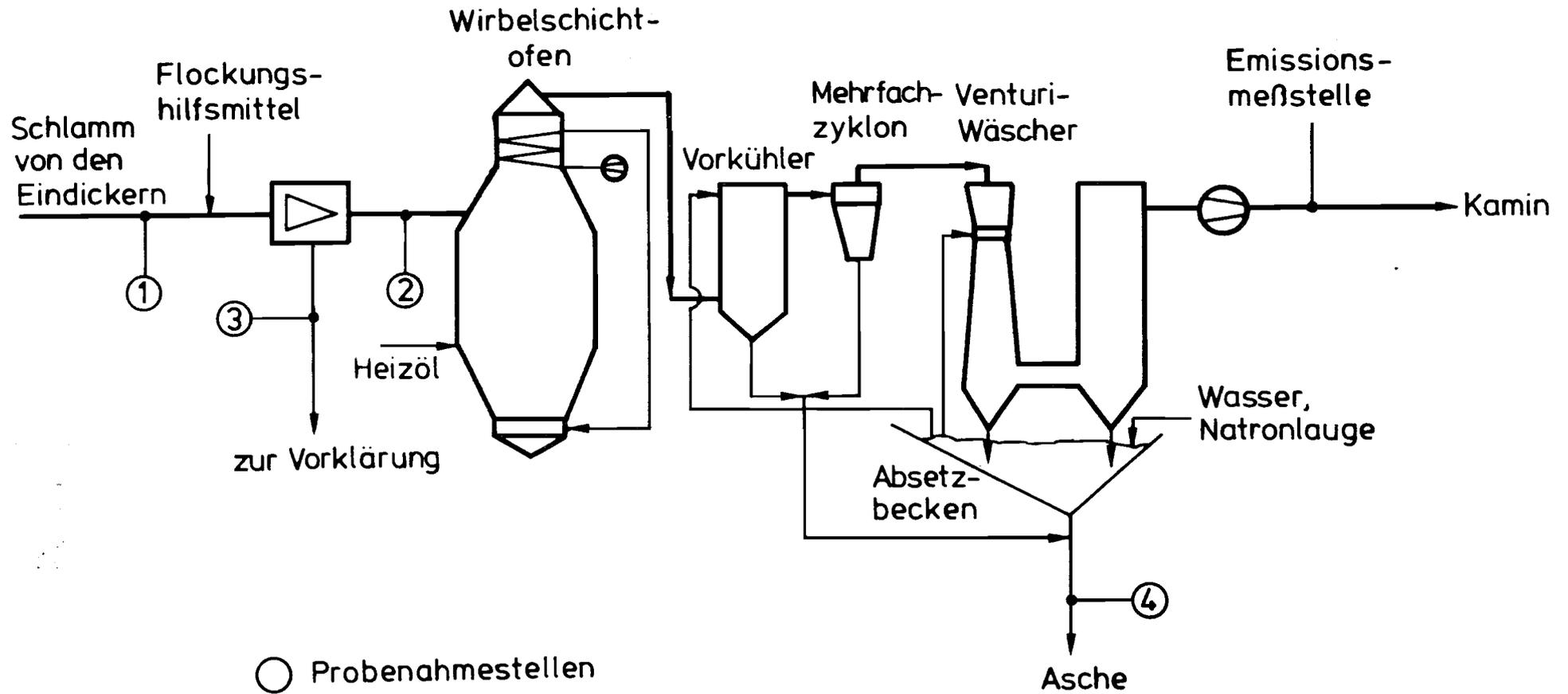


Abb. 1: Klärschlamm-Verbrennungsanlage A

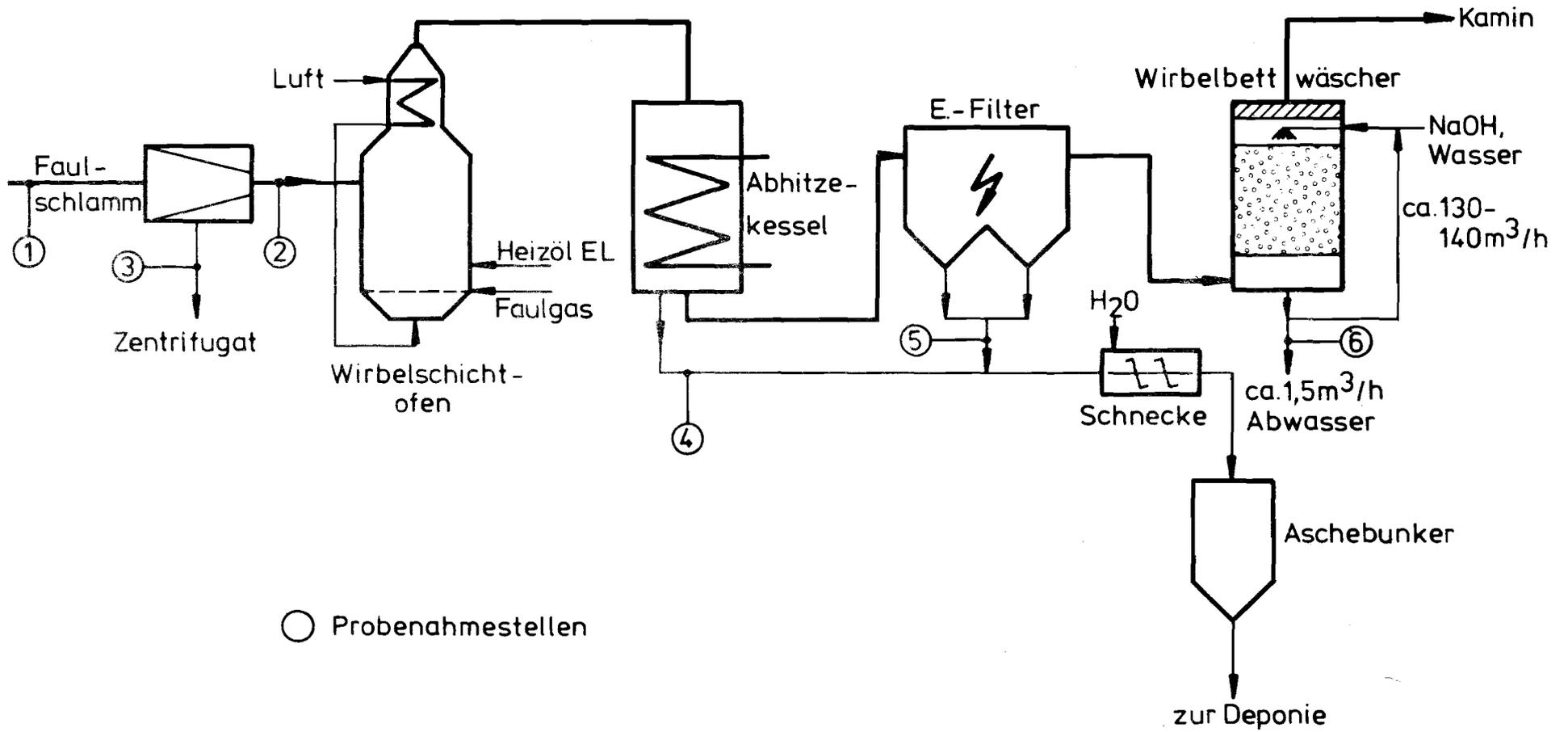


Abb. 2: Klärschlamm-Verbrennungsanlage B

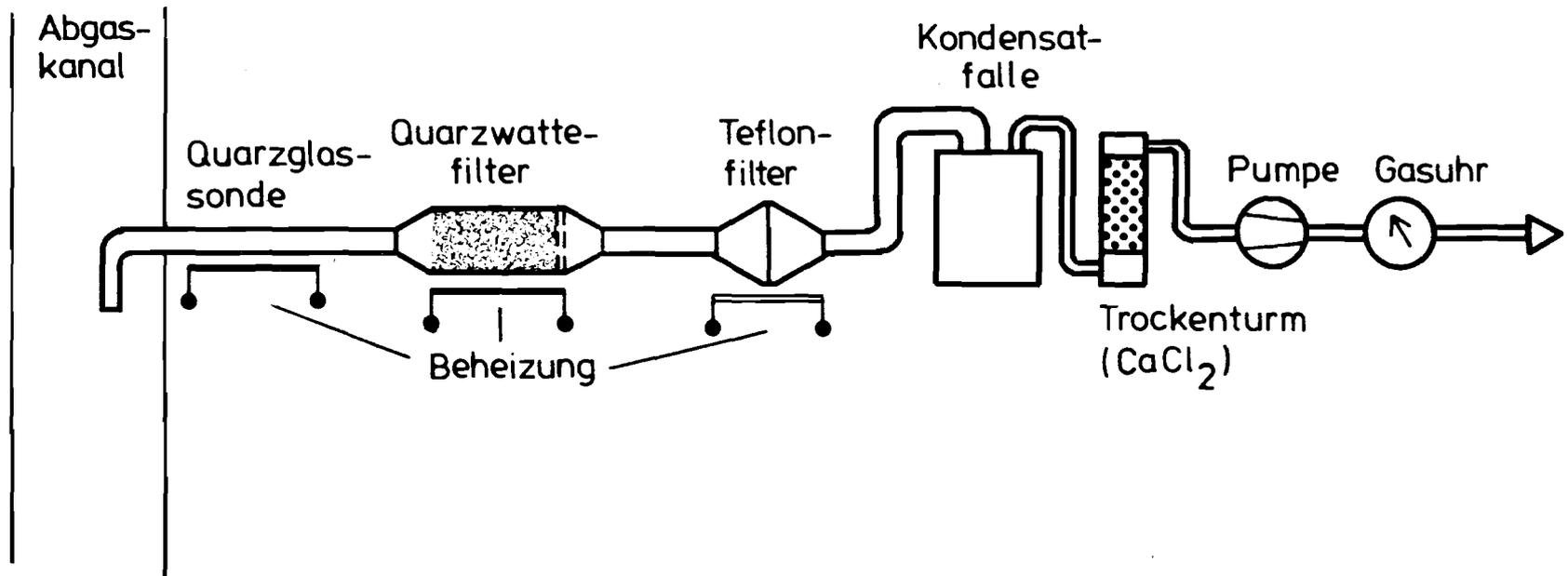


Abb. 3: Meßanordnung zur Erlangung einer Staubsammelprobe

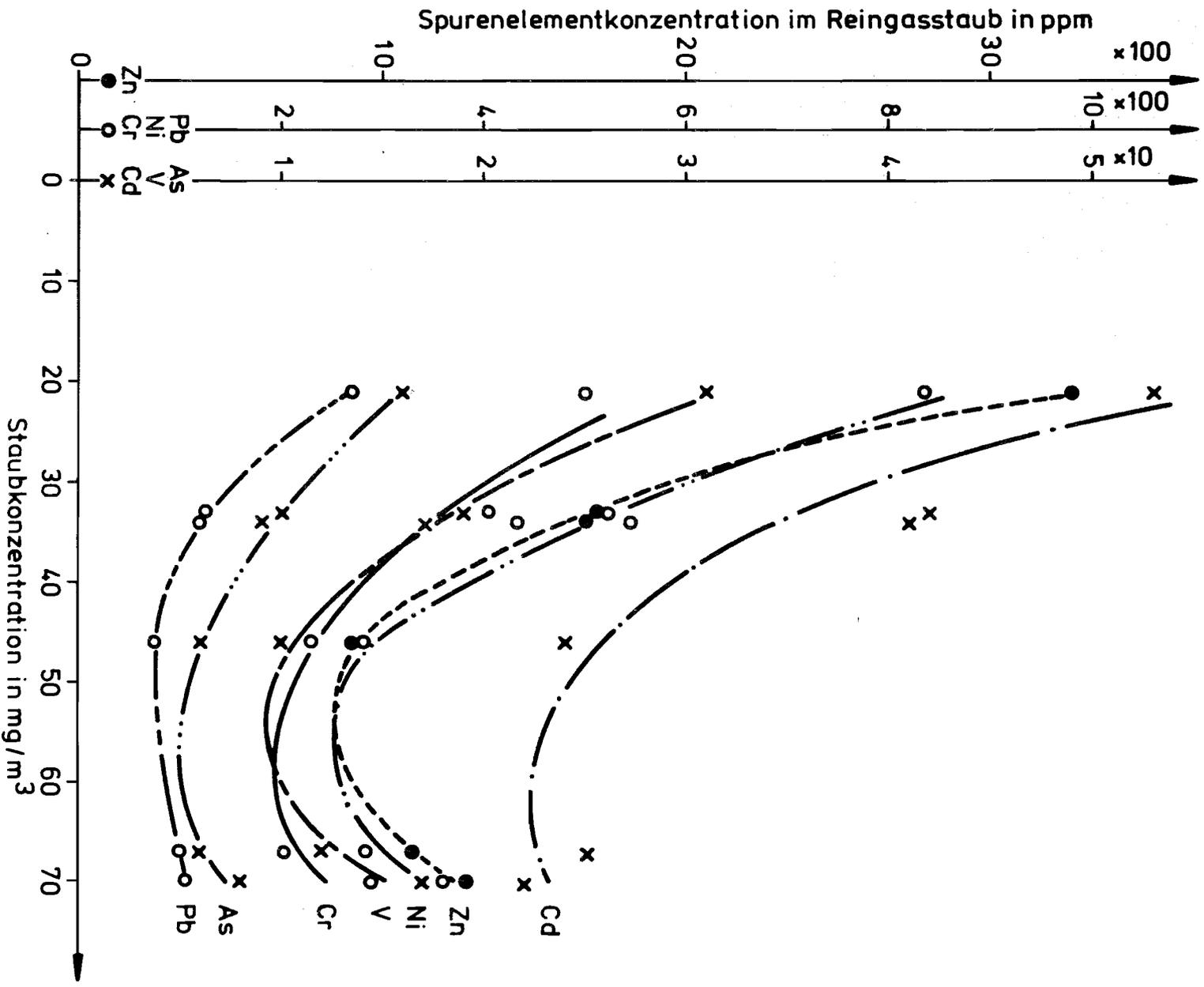


Abb. 4: Konzentration der Spurenelemente in Abhängigkeit von der Gesamt-Staubkonzentration

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Einzelexemplare werden Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6
4300 E s s e n 1

- Berichte-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:
(vergriffen) LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems - (1978).
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität (1978).
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA (1979).
- Berichte-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau (1979).
- Berichte-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen (1979).
- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege (1979).
- Berichte-Nr. 7: KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:
(vergriffen) Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen (1980).
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:
Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:
Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung
-Ziele, Methodik, Ergebnisse- (1980).
- Berichte-Nr. 11: MANNS, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft (1980).
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten (1981).
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen (1981).

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen (1981).
- Berichte-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:
(vergriffen) Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohrofen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B.:
(In Vorbereitung) Umweltpolitik in der VR China und technologische Entwicklung.
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region (1982).
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:
Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:
Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:
Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:
Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 13. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981 (1982).
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:
Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982 (1982).
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:
Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation (1982).
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten in Bauleitplanverfahren (1982).
- Berichte-Nr. 27: MANNS, H., H. GIES und G. NITZ:
(vergriffen) Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft (1982).
- Berichte-Nr. 28: PRINZ, B., G.M.H. KRAUSE und H. STRATMANN:
Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland (1982).
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:
Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).
- Berichte-Nr. 30: MANNS, H. und H. GIES:
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES (1983).

- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:
Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luft (1983).
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet (1983).
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:
Ermittlung von Verkehrsgeräusch-Immissionen
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an Bundes- und Sammelstraßen (1983).
- Berichte-Nr. 34: BRÖKER, G.:
Zusammenfassende Darstellung der Emissionssituation in Nordrhein-Westfalen und der Bundesrepublik Deutschland für Stickstoffoxide (1983).
- Berichte-Nr. 35: PIORR, D. und R. HILLEN:
Veränderung akustischer Kenngrößen infolge der nächtlichen Abschaltung von Lichtsignalanlagen (1983).
- Berichte-Nr. 36: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
Benzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen (1983).
- Berichte-Nr. 37: BACH, R.-W. und H. STRATMANN:
Untersuchungen zur Bestimmung der Aufnahme rate des IRMA-Gerätes bei verschiedenen Anströmverhältnissen (1983).
- Berichte-Nr. 38: WIETLAKE, K.H.:
Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).
- Berichte-Nr. 39: STRAUCH, H. und K. SCHWENGER:
Geräusche und Erschütterungen, verursacht durch elektrisch angetriebene Wärmepumpen (1983).

Anmerkung:

Die LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in vielen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Ausleihe bzw. Einsichtnahme zur Verfügung.