

LIS-Berichte

Nr. 78

**Bestimmung von Benzol
in Abgasen**

Herausgeber:
Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Straße 6
D 4300 Essen 1
1988
ISSN 0720-8499

Bestimmung von Benzol in Abgasen

**Dr. Karl-Josef Geueke
und
Hartmut Niesenhaus**

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

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

S u m m a r y

1. E i n l e i t u n g
2. V e r s u c h s p l a n u n g
3. L a b o r u n t e r s u c h u n g e n
 - 3.1. Dichtebestimmung
 - 3.2. Bestimmung der Viskosität
 - 3.3. Gaschromatographische Bedingungen
 - 3.4. Probenahme auf Aktivkohle und Probenaufbereitung
 - 3.5. Bestimmung der Wiederfindungsraten des gesamten Probe-
nahme- und Analysenverfahrens
 - 3.6. Bestimmung der Nachweisgrenze
 - 3.7. Festlegung des Arbeitsbereichs
 - 3.8. Querempfindlichkeiten
 - 3.9. Doppelbestimmungen
4. E r p r o b u n g a n B e t r i e b s a n l a g e n
5. B e w e r t u n g d e s V e r f a h r e n s
6. S c h r i f t t u m

BESTIMMUNG VON BENZOL IN ABGASEN

Dr. Karl-Josef Geueke und Hartmut Niesenhaus

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

Im vorliegenden Bericht wird ein Verfahren zur Bestimmung von Benzolemissionen vorgestellt. Die Probenahme erfolgt durch Adsorption an Aktivkohle. Zur Analyse wird mit CS₂ desorbiert und die Lösung mit Hilfe der Kapillargaschromatographie aufgetrennt und quantifiziert. Die Nachweisgrenze liegt bei 0,3 mg/m³.

THE DETERMINATION OF BENZENE IN FLUE GASES

S u m m a r y

This report presents a procedure for the determination of benzene in flue gases. Sampling is realized by adsorption on charcoal. For the analysis the compounds are desorbed with CS₂. This solution is separated and quantified by capillary-gas chromatography. The detection limit is 0,3 mg/m³. Standard deviation under laboratory conditions is 2 - 7 % (double determinations). Under real conditions the standard deviation is also 2 - 7 % relativ to the mean value (double determinations).

1. Einleitung

Aromatische Kohlenwasserstoffe sind häufig Bestandteile von gewerblich genutzten Lösemitteln. Sie entstehen jedoch auch bei Verbrennungs-, Pyrolyse- und Schwelprozessen.

Benzol als wichtigster Vertreter dieser Verbindungsklasse steht im Verdacht, beim Menschen Krebs zu erzeugen. Daher wurde ein Emissionsgrenzwert von 5 mg/m³ im Abgas gewerblicher Anlagen festgelegt [1].

Zur Ermittlung der Emissionen von aromatischen Kohlenwasserstoffen existiert bereits eine Meßvorschrift [2]. Bei diesem Verfahren erfolgt die Probenahme durch Absorption der Meßobjekte in Nitrobenzol. Es hat jedoch einige Nachteile. Die Handhabung von größeren Mengen Nitrobenzol ist wegen dessen stark gesundheitsschädigender Wirkung nicht unproblematisch. Weiterhin besteht an der Meßstelle, die häufig stark verschmutzt ist, die Gefahr der Kontamination der Probelösung. Dies wirkt sich nachteilig bei der nachfolgenden gaschromatographischen Analyse aus.

Die Analyse erfolgt durch Gaschromatographie an gepackten Edelstahlsäulen. Gegenüber den heute zum Einsatz kommenden Kapillarsäulen sind diese für komplexer zusammengesetzte Proben (z.B. Pyrolysegase) nur bedingt geeignet, da die Trennleistung sehr viel niedriger liegt. Das beschriebene Probenahmeverfahren ist für eine Analyse mit Hilfe der Kapillargaschromatographie auch nur bedingt geeignet.

Für den Bereich "Immissionsmessungen" wird in der VDI-Richtlinie 3482 Bl. 4 ein Verfahren zur Bestimmung organischer Komponenten beschrieben [3].

Die Probenahme erfolgt durch Adsorption der Verbindungen an Aktivkohle. Zur Analyse wird mit Kohlenstoffdisulfid eluiert bzw.

desorbiert. Das Eluat wird mit Hilfe der Kapillargaschromatographie aufgetrennt und quantifiziert.

Es sollte nun untersucht werden, ob sich dieses Verfahren auch unter den Bedingungen von Emissionsmessungen anwenden läßt. Die Randbedingungen von Emissionsmessungen sind in aller Regel im Unterschied zu Immissionsmessungen folgende:

- höhere Temperatur des Meßgutes
- höherer Wassergehalt
- höhere Konzentration,
- höhere Konzentration von Begleitstoffen.

Aufgrund dieser Verhältnisse schienen Silicagel, Tenax GC o.ä. Adsorptionsmittel a priori weniger geeignet.

Von Silicagel werden adsorbierte Komponenten durch Wasserdampf wieder desorbiert [4]. Tenax GC und andere organische Adsorbentien haben eine sehr viel geringere spezifische Adsorptionskapazität als Aktivkohle.

Das zu erarbeitende Verfahren sollte folgenden Voraussetzungen genügen:

- Die Probenahme an Emissionsmeßstellen soll möglichst einfach durchzuführen sein.
- Die Analyse soll sich ohne aufwendige Probenvorbereitung (z.B. Vortrennungen) mit Hilfe der Kapillargaschromatographie durchführen lassen.
- Die Wiederfindungsraten der zu analysierenden Komponenten sollen 100 % erreichen.
- Die Nachweisgrenze soll bei mindestens 0,5 mg/m³ (10 % des Grenzwertes von Benzol) liegen.
- Die Probenahme soll mit auf dem Markt erhältlichen fertig vorbereiteten Aktivkohleröhrchen durchführbar sein.

2. V e r s u c h s p l a n u n g

Die Untersuchungen erstreckten sich zunächst auf die Komponenten Benzol und Toluol.

Im Labor wurden Eichgasgemische dieser beiden Komponenten erzeugt und die Wiederfindungsraten und Nachweisgrenzen des gesamten Probenahme- und Analysenverfahrens bestimmt. Ferner wurden die Probenvorbereitung (Desorptionszeiten) untersucht und die gaschromatographischen Bedingungen (Säule, Säulentemperatur, Inletsplitverhältnis-, Injektor- und Detektortemperatur) festgelegt.

Danach wurde das Verfahren an unterschiedlichen Betriebsanlagen mit Hilfe von Doppelbestimmungen getestet.

3. L a b o r u n t e r s u c h u n g e n

Die Erzeugung eines Prüfgases mit Benzol und Toluol als Beimischungen erfolgte analog VDI-Richtlinie 3490 Bl. 10 mit Hilfe eines Kapillardosierers [5]. Es wurde ein 1:1 Gemisch aus Benzol und Toluol zur Dosierung eingesetzt. Dazu müssen die Dichte und die dynamische Viskosität des Gemischs bekannt sein.

3.1. Dichtebestimmung

Die Bestimmung der Dichte des Benzol-/Toluolgemischs erfolgte mit einem Pyknometer. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 1.

Tab. 1: Dichte eines 1:1 Gemischs Benzol/Toluol

Temperatur [°C]	Dichte [g/cm ³]
19	0,8722
20	0,8712

Tab. 1: Fortsetzung

Temperatur [°C]	Dichte [g/cm ³]
21	0,8703
22	0,8692
23	0,8685

3.2. Bestimmung der Viskosität

Die Bestimmung der dynamischen Viskosität des Benzol/Toluolgemischs wurde zwischen 19°C und 23°C mit Hilfe eines Höppler-Viskosimeters durchgeführt (Kugelfallmethode). Die Ergebnisse zeigt Tabelle 2.

Tab. 2: Dynamische Viskosität eines 1:1 Gemischs Benzol/Toluol

Temperatur [°C]	dyn.Viskosität [dPa·s]
19	0,006630
20	0,006493
21	0,006379
22	0,006298
23	0,006102

3.3. Gaschromatographische Bedingungen

Mit Standardlösungen von Benzol und Toluol in Kohlendisulfid wurden zunächst die gaschromatographischen Bedingungen festgelegt, unter denen die Substanzen in kurzer Analysenzeit getrennt werden. Zur Quantifizierung kam die Methode des inneren Standards zur Anwendung. Als Standard diente n-Undekan, dessen Retentionszeit geringfügig größer ist als die von Toluol. Wei-

terhin kommt diese Substanz an Emissionsquellen nicht in nennenswerter Konzentration vor, außer wenn komplex zusammengesetzte Benzin-Kohlenwasserstoffe als Lösemittel eingesetzt werden.

Folgende Chromatographiebedingungen wurden festgelegt:

Säule : 25 m x 0,3 mm Glaskapillare belegt
mit 0,2 μ m WG 11 (entspricht FFAP)

Säulentemperatur : 90°C (Analyse isotherm)

Injektortemperatur: 185°C

Detektortemperatur: 250°C

Detektor : FID

Trägergas : Helium 2 ml/min

Probenaufgabe : Split 1:100

Probenmenge : 1 μ l

Die Signalaufzeichnung und -auswertung wurden mit einem Computerintegrator (Spectraphysics 4100) vorgenommen.

Da Flammenionisationsdetektoren über mehrere Zehnerpotenzen lineares Verhalten zeigen, konnte auf eine Mehrbereichseichung verzichtet werden. Die Eichlösung hatte folgende Zusammensetzung:

1 μ l/ml Benzol
1 μ l/ml Toluol
1 μ l/ml Undekan in CS₂

Diese Lösung wurde zur Ermittlung der Responsfaktoren zwischen dem Standard und den zu bestimmenden Substanzen mehrfach aufgegeben.

Zur Kontrolle wurde dann die Eichlösung mehrfach als Probe aufgegeben.

Die Wiederfindungsraten zeigt Tabelle 3.

Tab. 3: Wiederfindungsraten von Benzol/Toluol in CS₂

	Benzol [mg/ml]	Toluol [mg/ml]
	Sollwert 0,874	Sollwert 0,842
1	0,935	0,894
2	0,878	0,841
3	0,857	0,824
4	0,823	0,815
5	0,845	0,825
6	0,798	0,799
7	0,890	0,846
8	0,845	0,813
9	0,885	0,836
10	0,856	0,822
11	0,814	0,802
12	0,834	0,814
13	0,876	0,843
14	0,869	0,848
15	0,916	0,880
MW	0,961	0,834
s	0,037 = 4 %	0,027 = 3 %

Es zeigte sich, daß jede Quantifizierung mindestens dreimal durchgeführt werden muß. Durch Änderung des Injektionsverfahrens konnte die Streuung der Werte verkleinert werden (hot needle injection).

Abbildung 1 zeigt ein Chromatogramm von einem der oben angeführten Durchläufe.

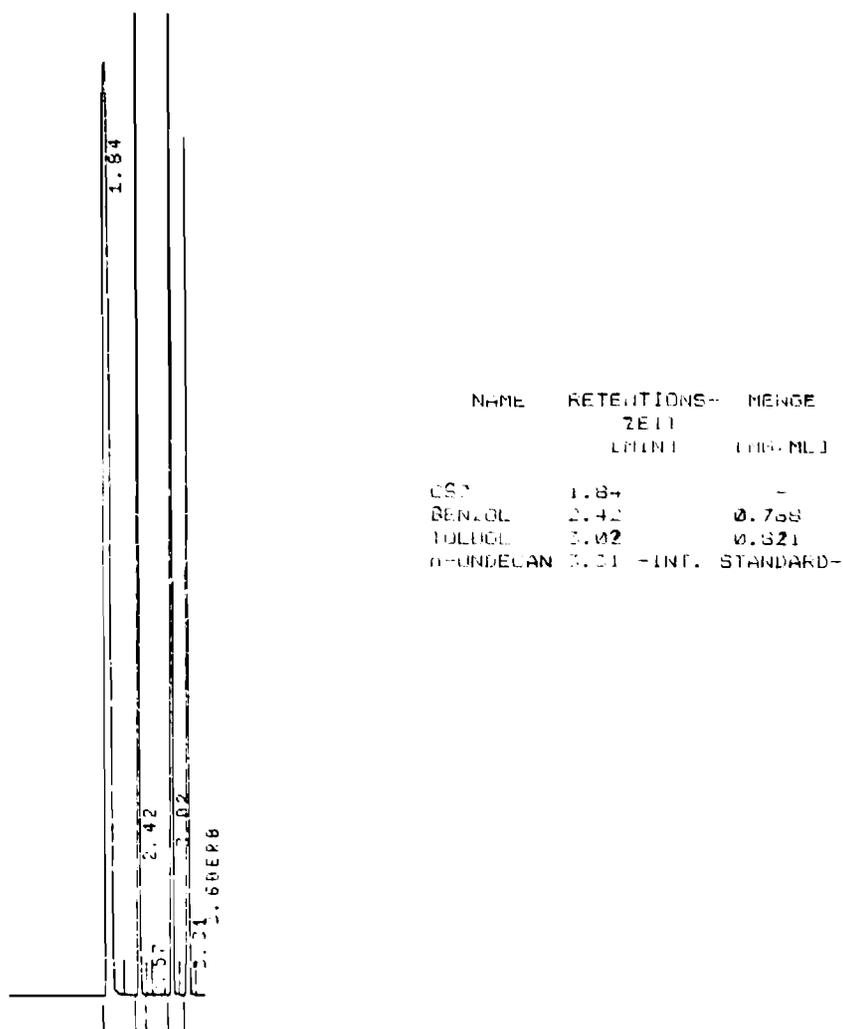


Abb. 1: Gaschromatogramm einer Eichlösung von Benzol und Toluol in Schwefelkohlenstoff

3.4. Probenahme auf Aktivkohle und Probenaufbereitung

Zur Probenahme wurden Orbo-32 Charcoal Tubes der Fa. Supelchem verwandt. Dies sind verschweißte Glasröhrchen mit einem Innendurchmesser von 6 mm. Darin befinden sich zwei durch Polyurethanschaum getrennte Zonen, die mit 100 bzw. 50 mg Kokosnußschalen-Aktivkohle der Körnung 20/40 mesh gefüllt sind. Die 100 mg-Zone dient zur Probenahme, die 50 mg-Zone der Durchbruchkontrolle.

Nach der Probenahme wurden jeweils beide Zonen getrennt aufgearbeitet. Falls sich das Meßobjekt auch in der Kontrollzone befindet, muß die Probe verworfen werden. Die beladene Aktivkohle wurde in ein dicht verschließbares Probengefäß überführt und mit 1 ml Kohlendisulfid, das 1 µl/ml Undekan enthielt, überschichtet. Wie sich aus Versuchsreihen ergab, ist die Desorption von Benzol und Toluol nach ca. 1 Stunde bei Raumtemperatur vollständig. Eine Adsorption und damit Konzentrationsänderung des Standards findet dabei nicht statt. Im Anschluß an die Desorptionsphase wurde die überstehende Lösung abpipettiert und stand zur gaschromatographischen Analyse zur Verfügung. Eine Filtration erwies sich als unnötig.

3.5. Bestimmung der Wiederfindungsraten des gesamten Probenahme- und Analysenverfahrens

Mit Hilfe eines Kapillardosierers wurden Eichgase verschiedener Konzentration an Benzol/Toluol hergestellt. Zur Probenahme wurde das Eichgas mit Hilfe einer Membranpumpe durch das Aktivkohleröhrchen gesaugt. Der Probenahmestrom betrug ca. 20 - 30 l/h. Das Probenvolumen wurde mit einer sog. "nassen Gasuhr" bestimmt.

Zur Bestimmung der Wiederfindungsraten wurden 47 Proben genommen, wobei man die Aktivkohle unterschiedlich stark belegte. Anschließend erfolgte die Probenaufbereitung und Analyse wie weiter oben beschrieben. Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse. Es werden für die Komponenten Benzol und Toluol jeweils die absolut dosierten Mengen (berechneten) und die gefundenen gegenübergestellt.

Tab. 4: Dosierung eines 1:1 Gemischs aus Benzol und Toluol
(Angaben in [mg] abs.)

Nr.	Benzol			Toluol		
	dosiert	gefunden	%	dosiert	gefunden	%
1	0,3598	0,431	119,8	0,3562	0,395	110,9
2	0,4315	0,472	109,4	0,4272	0,444	103,4
3	0,3598	0,356	99,5	0,3562	0,350	98,3
4	0,3598	0,398	110,6	0,3562	0,376	105,6
5	0,3598	0,383	106,5	0,3562	0,377	105,8
6	0,3263	0,336	102,9	0,323	0,324	100,3
7	0,3263	0,368	112,78	0,323	0,348	107,74
8	0,3263	0,349	106,96	0,323	0,332	102,79
9	0,3426	0,344	100,4	0,3391	0,331	97,6
10	0,3263	0,327	100,2	0,323	0,312	96,6
11	0,3752	0,353	94,1	0,3714	0,342	92,1
12	0,3682	0,379	102,9	0,3644	0,355	97,4
13	0,4351	0,435	100	0,4307	0,407	94,5
14	0,3347	0,367	109,7	0,3313	0,336	101,4
15	0,3347	0,323	96,5	0,3313	0,306	92,4
16	0,3347	0,322	96,2	0,3313	0,302	91,2
17	0,3347	0,342	102,2	0,3313	0,319	96,3
18	0,3363	0,342	101,69	0,3329	0,322	96,73
19	0,3363	0,340	101,1	0,3329	0,314	94,3
20	0,3363	0,334	99,32	0,3329	0,321	96,43
21	0,3363	0,321	95,45	0,3329	0,303	91,02
22	0,3363	0,336	100	0,3329	0,312	93,72
23	0,3363	0,315	93,67	0,3329	0,300	90,12
24	0,3363	0,337	100,21	0,3329	0,322	96,73
25	0,3363	0,321	95,45	0,3329	0,308	92,52
26	0,3257	0,347	106,5	0,3224	0,317	98,3
27	0,3257	0,342	105	0,3224	0,321	99,6
28	0,3257	0,355	108,9	0,3224	0,329	102,0
29	0,3257	0,338	103,8	0,3224	0,315	97,7
30	0,3257	0,334	102,8	0,3224	0,316	98,0
31	0,3257	0,335	102,9	0,3224	0,318	98,6
32	0,3257	0,322	98,9	0,3224	0,307	95,2
33	0,3257	0,334	102,7	0,3224	0,314	97,4
34	0,3374	0,348	103,1	0,334	0,319	95,5
35	0,169	0,167	98,8	0,167	0,156	93,4
36	0,169	0,172	101,8	0,167	0,164	98,2
37	0,067	0,072	107,5	0,067	0,069	103,2
38	0,067	0,063	94,0	0,067	0,06	95,2
39	0,0337	0,034	100,9	0,0333	0,032	96,1
40	0,0337	0,033	98,0	0,0333	0,032	96,1
41	1,086	1,107	101,9	1,075	1,077	100,2
42	0,905	0,923	102,0	0,896	0,892	99,6
43	1,267	1,285	101,4	1,255	1,246	99,28
44	1,327	1,397	101,8	1,358	1,318	97,05
45	1,543	1,483	96,1	1,527	1,428	93,5
46	1,715	1,704	99,35	1,697	1,651	97,3
47	1,886	1,821	96,55	1,867	1,775	95,07

Im Mittel fand man für Benzol eine Wiederfindungsrate von $102 \pm 5 \%$ und für Toluol $98 \pm 4 \%$. Damit war eine der Anforderungen an das gesamte Verfahren erfüllt.

3.6. Bestimmung der Nachweisgrenze

Normalerweise wird die Bestimmung der Nachweisgrenze derart vorgenommen, daß die zu analysierende Matrix ohne das zu bestimmende Meßobjekt dem gesamten Probenahme- und Analysenverfahren unterworfen wird. Die Nachweisgrenze liegt dann bei der Summe aus dem mittleren Blindwert und der dreifachen Standardabweichung der Blindwertstreuung.

$$\text{NWG} = B + 3 \sigma_B$$

NWG: Nachweisgrenze
B: Mittelwert der Blindwerte
 σ_B : Streuung der Blindwerte

Dieses Verfahren erschien im vorliegenden Fall jedoch nicht sinnvoll. Das bei der Dosierung verwandte Trägergas ist im Rahmen der angestrebten Meßgenauigkeit frei von Benzol und Toluol. Auch auf den verwandten Aktivkohlen sind diese Komponenten nicht nachweisbar. Ebenso verhält sich das Lösemittel CS_2 . Daher würde für die Festlegung der Nachweisgrenze lediglich die Schwankung der Grundlinie bei der gaschromatographischen Analyse in die Rechnung eingehen. Dies ist jedoch unpraktikabel, da die Desorption kleinster Mengen Benzol/Toluol ($< 1 \mu\text{g}$ abs.) mit hohem Aufwand verbunden ist. Die Nachweisgrenze läge bei derartigem Vorgehen in der Größenordnung von Immissionskonzentrationen und Meßergebnisse in diesem Bereich sind für Emissionsmessungen irrelevant.

Es wurde daher folgende Verfahrensweise gewählt: Aktivkohleröhrchen wurden mit fallenden Mengen der Komponenten belegt. Es wurde untersucht, bis zu welcher absoluten Menge das oben beschriebene Verfahren reproduzierbare Meßwerte liefert. Eine Änderung der Chromatographiebedingungen (insbesondere Verkleinerung des Splitverhältnisses) wurde dabei nicht vorgenommen.

Es ergab sich, daß bei einer absolut dosierten Menge von 3 µg die Meßwerte stark zu streuen begannen. Daher wurde bei diesem Wert die Nachweisgrenze willkürlich festgelegt.

In Konzentrationsangaben ist die Nachweisgrenze keine Verfahrenskenngröße, da sie durch die Wahl des Probenahmeverolumens nach oben oder unten beeinflussbar ist.

Für ein Probenahmeverolumen von 10 l (das entspricht einer Probenahmezeit von ca. 30 min) liegt die Nachweisgrenze bei

$$\text{NWG (Benzol)} = 0,3 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{NWG (Toluol)} = 0,3 \text{ mg/m}^3$$

Da die Streuung der Meßwerte im Bereich der Nachweisgrenze besonders groß ist, legt man beim Dreifachen der Nachweisgrenze die sogenannte Bestimmungsgrenze fest, oberhalb derer quantitative Aussagen mit akzeptabler Streuung der Meßwerte möglich sind. Meßwerte zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze haben nur qualitativen Charakter.

Die Bestimmungsgrenzen im vorliegenden Verfahren liegen bei 9 µg Benzol/Toluol absolut. In Konzentrationsangaben sind das bei den obigen Bedingungen

$$0,9 \text{ mg/m}^3.$$

3.7. Festlegung des Arbeitsbereichs

Aus weiteren Dosierversuchen ergab sich, daß oberhalb einer Beladung der 100 mg-Zone der Aktivkohleröhrchen von ca. 2 mg Benzol/Toluol Durchbrüche in die 50 mg-Zone auftraten. Daher wurde eine obere Beladungsgrenze von 1,5 mg absolut festgelegt. Als optimaler unterer Arbeitspunkt erwiesen sich 0,03 mg absolut.

Der optimale Arbeitsbereich wurde daher auf eine Beladung zwischen 0,03 - 1,5 mg Benzol/Toluol festgelegt.

3.8. Querempfindlichkeiten

Querempfindlichkeiten wie bei anderen - z.B. photometrischen - Meßverfahren sind bei der gaschromatographischen Analyse zunächst nicht zu erwarten. Bei komplexen Substanzgemischen kann es zwar zu Peaküberlagerungen kommen; dann bleibt es im Einzelfall dem Geschick des Meßtechnikern überlassen, Bedingungen zu finden, um das Meßobjekt sauber von anderen Substanzen abzutrennen und ggf. durch Chromatographie auf einer Säule mit anderer Phasenbelegung die Identität sicherzustellen.

Hier sollte untersucht werden, welchen Einfluß die Anwesenheit von Wasserdampf in der Matrix hat und ob dadurch Minderbefunde (wie z.B. bei der Adsorption an Kieselgel) ausgelöst wurden.

Es wurden daher Dosiersversuche vorgenommen, bei denen dem Grundgasstrom 0,5 % Wasserdampf zugegeben waren. Die Wiederfindungsraten änderten sich dabei nicht.

Bei Wassergehalten, bei denen bei Beheizung der Adsorptionsröhrchen auf ca. 40°C noch Kondensation auftreten kann, muß das Kondensat entfernt und getrennt analysiert werden.

Versuche ergaben jedoch, daß bei den im Labor durchgeführten Probenahmen sich Benzol und Toluol vollständig auf der Aktivkohle wiederfanden.

Anmerkung: Selbst bei Kondensation in der Aktivkohlezone sollten Minderbefunde nicht auftreten, da ja Aktivkohle auch zur Anreicherung von Spurenstoffen in der Wasseranalytik angewandt wird.

3.9. Doppelbestimmungen

Es wurden nochmals 30 Doppelbestimmungen für Benzol vorgenommen, wobei die Konzentration des Eichgases konstant blieb, das Probenahmenvolumen aber sukzessive abgesenkt wurde, was eine entsprechend verringerte Belegung ergab. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 5.

Tab. 5: Doppelbestimmungen an einem Benzol/Toluol-Eichgas

Nr.	A [mg/m ³]	B [mg/m ³]	Volumen [l]	Belegung [mg]
1	54,65	51,93	ca. 5	ca.0,25
2	51,12	50,34		
3	53,60	50,34		
4	52,25	51,01		
5	53,38	53,04		
6	52,82	52,29		
7	52,65	52,51	ca. 4	ca.0,20
8	51,81	51,96		
9	52,09	52,42		
10	52,09	51,96		
11	55,29	56,01	ca. 3	ca.0,15
12	53,80	54,90		
13	54,55	54,90		
14	53,78	54,15		
15	55,66	53,41		
16	52,78	55,59	ca. 2	ca.0,10
17	-	50,53		
18	54,46	49,41		
19	52,22	53,90		
20	49,97	50,53		
21	51,98	56,43	ca. 1	ca.0,05
22	54,24	51,92		
23	48,59	49,66		
24	50,85	50,79		
25	56,37	53,05		
26	55,68	51,11	ca.0,5	ca.0,03
27	51,22	53,33		
28	48,89	51,11		
29	53,33	62,22	ca.0,25	ca.0,02
30	57,78	53,33		
31	53,33	48,89		

Für die Bestimmung der Standardabweichung aus Doppelbestimmungen wurden Werte zu Gruppen zusammengefaßt. Das Ergebnis zeigt Tabelle 6.

Tab. 6: Standardabweichung aus Doppelbestimmungen

Nr.	Belegung [mg]	Standardabw. [mg/m ³]	Mittelwert [mg/m ³]	rel.Standardabw. [%]
1-15	0,25-0,15	0,96	53,02	1,8
16-25	0,05-0,10	1,95	52,32	3,7
26-31	0,03-0,02	3,52	53,35	6,6

Da die oben beschriebenen Versuche mit einem Eichgas gleichbleibender Konzentration durchgeführt wurden, läßt sich aus den Reihen auch die Standardabweichung unter Wiederholbedingungen errechnen. Auch in diesem Fall wurden Werte zu Gruppen zusammengefaßt. Die Ergebnisse zeigt die Tabelle 7.

Tab. 7: Standardabweichung unter Wiederholbedingungen

Nr.	Standardabw. [mg/m ³]	Mittelwert [mg/m ³]	rel.Standardabw. [%]
A1-A10	1,02	52,65	1,9
B1-B10	0,92	51,78	1,8
A21-A28	2,75	52,10	5,3
B21-B28	2,10	52,17	4,0

4. Erprobung an Betriebsanlagen

Das Verfahren wurde zunächst an einer Anlage zum Brennen von wärmedämmenden Ziegel erprobt ("Porotonziegel"). Bei diesem Produktionsverfahren wird der Ziegelrohmasse Styropor zugesetzt. Nach Einbringen der Rohziegel in den Tunnelofen wird in der Aufwärmzone das Styropor thermisch abgebaut und es entstehen Hohlräume. Die Abbauprodukte sind die, die bei thermischer Zersetzung von Polystyrol unter Luftabschluß entstehen: Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Styrol usw. Diese Verbindungen werden nicht mehr durch die Brennzone des Tunnelofens geführt, sondern sie verlassen die Vorwärmzone und werden emittiert [6].

Es wurden neun Doppelbestimmungen mit dem oben beschriebenen Meßverfahren durchgeführt. Das Meßgas wurde über eine beheizte Glassonde dem Abgaskanal entnommen, Staub durch ein Quarzwattemfilter entfernt und dem Probenahmeröhrchen über einen Kondensatabscheider zugeführt. Der Probenahmestrom betrug ca. 30 l/h.

Probenahmebedingungen

Meßstelle : Abgaskanal des Tunnelofens auf der Saugseite des Ventilators vor Eintritt in den Kamin

Meßquerschnitt : 1,45 m²

Temperatur : 155°C

statischer Differenzdruck: - 2 mbar

Feuchte : 67 g/m³

Gasgeschwindigkeit : 5,3 m/s

mittlerer CO₂-Gehalt : 4,9 %

mittlerer O₂-Gehalt : 16,4 %

Meßzeit : 25 - 30 min

Die Einzelmessungen fanden innerhalb der Schubzeit statt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 8.

Tab. 8: Messung der Benzolemission einer Ziegelei

Nr.	Benzolmenge [mg] abs.	Probenvolumen [l] i.N.	Konzentration [mg/m ³]
A1	0,235	7,38	31,8
A2	0,238	9,99	28,3
A3	0,238	9,99	28,3
A4	0,216	7,82	27,6
A5	0,258	7,79	33,1
A6		S t ö r u n g	
A7	0,298	9,66	34,4
A8	0,110	4,29	25,6
A9	0,224	6,43	34,8
B1	0,201	6,52	30,8
B2	0,228	7,38	30,9

Tab. 8: Fortsetzung

Nr.	Benzolmenge [mg] abs.	Probekvolumen [l] i.N.	Konzentration [mg/m ³]
B3	0,253	8,25	30,7
B4	0,276	9,56	28,9
B5	0,306	9,52	32,1
B6	0,162	5,63	28,8
B7	0,256	9,09	28,2
B8	0,120	4,71	25,5
B9	0,219	7,28	30,1

Die Standardabweichung aus Doppelbestimmungen beträgt:

$$s = 2,2 \text{ mg/m}^3$$

$$s_{rel} = 7 \% \text{ bezogen auf den Mittelwert des gesamten Kollektivs}$$

Die gaschromatographische Analyse wurde durch eine GC-MS-Analyse abgesichert. Dabei konnte die richtige Zuordnung des Benzolpeaks im Gaschromatogramm untermauert werden. Andere aromatische Komponenten mit Ausnahme von Styrol konnten nicht nachgewiesen werden. Im Kondensat konnte Benzol nicht nachgewiesen werden.

Eine zweite Serie von fünf Doppelbestimmungen wurde ebenfalls an einer Anlage zum Brennen von wärmedämmenden Ziegelsteinen vorgenommen. Im Unterschied zur vorher beschriebenen Anlage kam hier pro kg umgesetzte Ziegelrohmasse ein geringerer Anteil Styropor zum Einsatz, so daß auch mit geringeren Benzolkonzentrationen zu rechnen war.

Probenahmebedingungen:

Meßstelle : Abgaskanal des Tunnelofens vor Eintritt in den Kamin
 Meßquerschnitt : 0,71 m²
 Temperatur : 170°C

statischer Differenzdruck: 1 mbar
 Feuchte : 70 g/m³
 Gasgeschwindigkeit : 13 m/s
 mittlerer CO₂-Gehalt : 3,6 %
 mittlerer O₂-Gehalt : 17 %
 Meßzeit : ca. 20 min

Die Einzelmessungen fanden wiederum innerhalb der Schubzeit statt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 9.

Tab. 9: Messung der Benzolemission einer Ziegelei

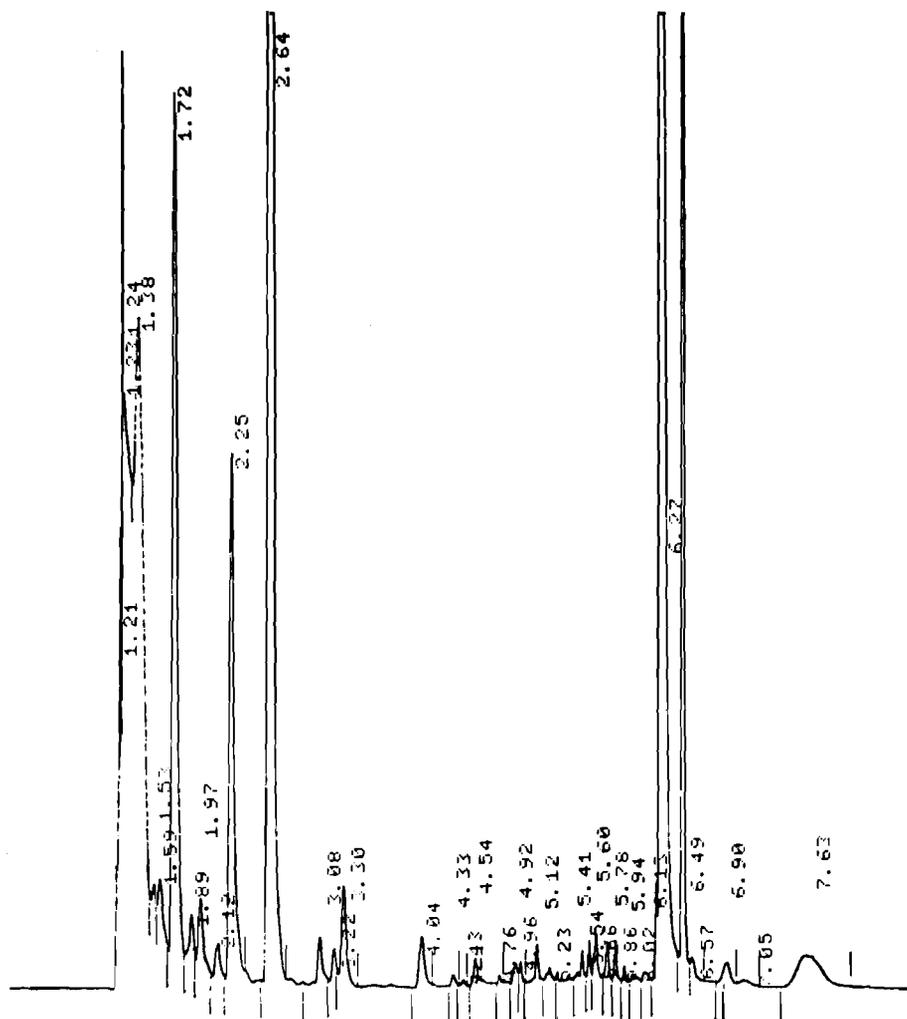
Nr.	Benzolmenge [mg] abs.	Probenvolumen [l] i.N.	Konzentration [mg/m ³]
A1	0,02	9,3	2,2
A2	0,02	8,4	2,3
A3	0,01	8,2	2,2
A4	0,02	12,5	2,2
A5	0,02	10,2	2,2
B1	0,02	10,8	2,3
B2	0,02	11,1	2,2
B3	0,02	9,2	2,3
B4	0,02	10,8	2,3
B5	0,02	9,8	2,2

Die Standardabweichung aus Doppelbestimmungen betrug:

$$s = 0,06 \text{ mg/m}^3$$

$$s_{rel} = 3 \% \text{ bezogen auf den Mittelwert des gesamten Kollektivs}$$

Ein typisches Chromatogramm ist in Abb. 2 dargestellt.



NAME	RETENTIONS- ZEIT [MIN]	MENGE [MG]/PROBE
CS ₂	1.24	-
BENZOL	1.72	0.191
TOLUOL	2.25	0.103
n-UNDEKAN	2.64	INT. STAND.
ETHYLBENZOL	3.08	0.011
p-XYLOL	3.22	0.006
m-XYLOL	3.30	0.023
o-XYLOL	4.04	0.012

Abb. 2: Gaschromatogramm des CS₂-Desorbats einer Emissionsprobe

5. B e w e r t u n g d e s V e r f a h r e n s

Im vorliegenden Bericht wird ein Verfahren vorgestellt, das geeignet ist, den Benzolgehalt im Abgas zu ermitteln.

Die Probenahme erfolgt durch Adsorption des Meßobjektes an Aktivkohle.

Zur Analyse wird mit Kohlendisulfid desorbiert, diese Lösung mit Hilfe der Kapillargaschromatographie aufgetrennt und das Meßobjekt quantifiziert.

Bei Dosierversuchen im Laboratorium wurden Eichgase von Benzol/Toluol in Stickstoff hergestellt.

Die Wiederfindung der Komponenten Benzol und Toluol über das gesamte Meßverfahren war bei den Laborversuchen quantitativ.

Die Nachweisgrenze wurde - entgegen der üblichen Bestimmungsmethodik - auf 0,003 mg abs. je Komponente festgelegt. Dadurch ergibt sich eine Bestimmungsgrenze von 0,01 mg abs. je Komponente.

Bei 10 l Probenahmenvolumen (entsprechend einer Probenahmezeit von ca. 30 min) liegt die Nachweisgrenze bei

$$0,3 \text{ mg (Benzol/Toluol)/m}^3.$$

Bei Wiederholmessungen an einem Benzoleichgas (ca. 50 mg/m³) wurden Standardabweichungen unter Wiederholbedingungen zwischen 2 % und 4 % bezogen auf den Mittelwert des gesamten ausgewerteten Kollektivs erhalten.

Bei Doppelbestimmungen mit Benzoleichgas erhielt man Standardabweichungen aus Doppelbestimmungen zwischen 2 % und 7 % abhängig von der Belegung der Aktivkohle mit Benzol.

An zwei Anlagen zum Brennen von wärmedämmenden Ziegeln wurden Doppelbestimmungen durchgeführt. Die zugehörigen Standardabweichungen lagen zwischen 2 % und 7 % bezogen auf den Mittelwert des jeweils ausgewerteten Kollektivs.

Das hier vorgestellte Meßverfahren wurde nach den oben beschriebenen Versuchen auch an anderen Anlagenarten mit Erfolg angewandt.

An der Entwicklung und Erprobung dieses Meßverfahrens waren neben den Autoren beteiligt:

W.A. de Bruijne

J. Zeidler

6. S c h r i f t t u m

- [1] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz vom 27.02.1986.
(Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA-Luft)
- [2] VDI-Richtlinie 2467 Bl. 5
Gaschromatographische Bestimmung von Benzol, Toluol und Xylol (Juni 1981).
- [3] VDI-Richtlinie 3482 Bl. 3
Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen mit Kapillarsäulen, Probenahme durch Anreicherung an Aktivkohle (November 1984).
- [4] VDI-Richtlinie 3481 Bl. 2
Bestimmung des durch Adsorption an Kieselgel erfaßbaren organisch gebundenen Kohlenstoffs in Abgasen (April 1980).

- [5] VDI-Richtlinie 3490 Bl. 10
Herstellen von Prüfgasen durch Mischen von Volumenströmen
- Kapillardosierer (Januar 1981).

- [6] Ullmanns Enzyklopädie der Technischen Chemie Bd. 24,
S. 579 ff, Weinheim 1983.

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. Sie werden - soweit nicht vergriffen - Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt. Alle LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Einsichtnahme und Ausleihe zur Verfügung.

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.:
(vergriffen) Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:
(vergriffen) 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 Purpurez als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B. und E. KOCH:
(vergriffen) Umweltpolitik und technologische Entwicklung in der VR China (1984).
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
(vergriffen) 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.:
(vergriffen) Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:
(vergriffen) Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:
(vergriffen) 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.:
(vergriffen) 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:
(vergriffen) 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.:
(vergriffen) Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).

- Berichte-Nr. 30: MANN, H. und H. GIES.
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-Meßplätze im Meßnetz LINES-TEMES (1983).
- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:
(vergriffen) 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.:
(vergriffen) 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:
(vergriffen) 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.:
(vergriffen) Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).
- Berichte-Nr. 39: STRAUCH, H. und K. SCHWENGER:
(vergriffen) Geräusche und Erschütterungen, verursacht durch elektrisch angetriebene Wärmepumpen (1983).
- Berichte-Nr. 40: BRÖKER, G. und B. SCHILLING:
Schwermetallemissionen bei der Verbrennung kommunaler Klärschlämme (1983).
- Berichte-Nr. 41: HILLEN, R.:
(vergriffen) Über Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität von Schießgeräuschmessungen im Immissionsbereich (1983).
- Berichte-Nr. 42: KLEIN, M.:
(vergriffen) Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien - Ziele, Physik der Schallausbreitung, Vorgehensweise, Ergebnisse - (1983).
- Berichte-Nr. 43: PFEFFER, H.-U., S. KÜLSKE und R. BEIER:
(vergriffen) Jahresbericht 1981 über die Luftqualität an Rhein und Ruhr.
Ergebnisse aus dem telemetrischen Immissionsmeßnetz TEMES in Nordrhein-Westfalen. (1984)
- Berichte-Nr. 44: BUCK, M., H. IXFELD und R. BEIER:
Immissionsbelastung durch Fluor-Verbindungen in der Nachbarschaft der Aluminiumhütte LMG in Essen. (1984).
- Berichte-Nr. 45: STRAUCH, H. und R. HILLEN:
(vergriffen) Geräuschimmissionen in Großstädten; Flächenbezogene Kennzeichnung dieser Geräuschimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 46: BUCK, M. und P. BRUCKMANN:
(vergriffen) Air quality surveillance in the Federal Republic of Germany (1984).

- Berichte-Nr. 47: BEIER, R.:
Kohlenwasserstoffbelastung in Aalen - eine statistische Analyse -. (1984)
- Berichte-Nr. 48: SCHADE, H.:
(vergriffen) Prognose der Schadstoffemissionen aus Verbrennungsanlagen im Belastungsgebiet
Rheinschiene-Süd für die Jahre 1985 und 1990. (1984)
- Berichte-Nr. 49: STRATMANN, H.:
Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Vegetation.
Bewertung der Luftanalyse auf der Grundlage weiterentwickelter Dosis-
Wirkungsbeziehungen für Schwefeldioxid und Ozon zur Ursachenaufklärung der
neuartigen Waldschäden. (1984)
- Berichte-Nr. 50: GOLDBERG, K.H.:
(vergriffen) Untersuchungen zu Schieblärminderungen, dargestellt an Fallbeispielen. (1984)
- Berichte-Nr. 51: HERPERTZ, E., J. ASSMANN, D. KRANE, E. HARTMANN, B. STECK, E. BREWIG und
(vergriffen) J. KROCHMANN:
Messen und Beurteilen von Lichtimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 52: Pfeffer, H.-U.:
(vergriffen) Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.
Teil 3: Ringversuche der staatlichen Immissions- Meß- und Erhebungsstellen in der
Bundesrepublik Deutschland (STIMES).
Ergebnisse für die Komponenten SO₂, NO_x, O₃ und CO. (1984).
- Berichte-Nr. 53: BEIER, R.:
(vergriffen) Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft 1983. (1985).
- Berichte-Nr. 54: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
Polychlorierte Dibenzodioxine und Furane in den Filterstäuben und Schlacken der
zwölf Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen sowie einiger
Sondermüllverbrennungsanlagen. (1985).
- Berichte-Nr. 55: KÜLSKE, S., J. GIEBEL, H.-U. PFEFFER und R. BEIER:
ANALYSE der Smoglage vom 16. bis 21. Januar 1985 im Rhein-Ruhr-Gebiet.
Teil 1: Text- und Bildband. (1985).
Teil 2: Meßergebnisse. (1985).
- Berichte-Nr. 56: SPLITZGERBER, H., M. KLEIN und P. NEUTZ:
Untersuchungen zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle bei Einwirkung von
Erschütterungen auf den Menschen - Beschreibung der Versuchsanlage - (1985).
- Berichte-Nr. 57: PRINZ, B., J. HRADEZKY, H.-U. PFEFFER, H.W. ZÖTTL und H.-K. LICHTENTHALER:
(vergriffen) Forschungsergebnisse zur Problematik der neuartigen Waldschäden. (1985).
- Berichte-Nr. 58: GIEBEL, J. und W. STRAMPLAT:
Untersuchung über die Eignung des Korrelationsspektrometers Cospec V zur
Bestimmung des Transportes von Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid. (1986).
- Berichte-Nr. 59: PRINZ, B., D. SCHWELA, E. KOCH, S. GANSER und T. EIKMANN:
Untersuchungen zum Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Häufigkeit von
Pseudokrupperkrankungen im Stadtgebiet Essen. (1986).
- Berichte-Nr. 60: MANN, H. und H. GIES:
Ergebnis der Erprobung des automatischen Ozon-Meßgerätes Dasibi, Typ 1008 AH
(1986).
- Berichte-Nr. 61: SPLITZGERBER, H.:
(vergriffen) Messung und Beurteilung von Erschütterungsmissionen - Vergleich verschiedener
Verfahren - (1986).
- Berichte-Nr. 62: BUCK, M. und P. KIRSCHMER:
(vergriffen) Immissionsmessungen polychlorierter Dibenzop-Dioxine und Dibenzofurane in
Nordrhein-Westfalen. (1986).
- Berichte-Nr. 62: BUCK, M. und P. KIRSCHMER:
Measurements of Polychlorinated Dibenzop-dioxins and Dibenzofurans in Outdoor
Air. (Übersetzung des 1986 erschienenen LIS-Berichtes Nr. 62).
(1987).

- Berichte-Nr. 63: GIEBEL, J.:
Untersuchung über die praktische Anwendung eines numerischen Ausbreitungsmodells (K-Modell) für die Praxis der Immissions-Simulation. (1986)
- Berichte-Nr. 64: WINKLER, H.D.:
Thalliumemissionen bei der Zementherstellung - Ursachen und Minderungsmaßnahmen - (1986).
- Berichte-Nr. 65: WIETLAKE, K.H.:
(vergriffen) Erschütterungseinwirkung durch Exzenter-Schmiedepressen und ihre Minderung durch Direktabfederung. (1986)
- Berichte-Nr. 66: Viertes Symposium über die Technik der Kernreaktorfernüberwachungssysteme am 8. und 9.10.1986 in der LIS, Essen. (1986).
- Berichte-Nr. 67: ASSMANN, H.:
(vergriffen) Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz. (1986)
- Berichte-Nr. 68: MANNS, H. und H. GIES:
(vergriffen) Erprobung des Schwebstaubmeßgerätes FH 62 I 3 m³/h für die automatisierte Immissionsmessung. (1986)
- Berichte-Nr. 69: BEINE, H.:
Phosphorsäureester und verwandte Verbindungen - Umweltrelevanz und luftanalytische Bestimmung. (1987)
- Berichte-Nr. 70: BUCK, M. und H.-U. PFEFFER:
Air quality surveillance in the state North-Rhine-Westphalia (Federal Republic of Germany). (1987)
- Berichte-Nr. 71: WEFERS, H. und H. KATZER:
Zusammenstellung von zusätzlichen sicherheitstechnischen Anforderungen an Anlagen zur Lagerung von druckverflüssigtem Ammoniak in Kraftwerken. (1987)
- Berichte Nr. 72: BEIER, R., J. KOHLERT und M. BUCK:
(vergriffen) Entwicklung der Immissionsbelastung in der Umgebung der Aluminiumhütte im Essener Norden in den Jahren 1984-1986. (1987)
- Berichte Nr. 73: SCHADE, H.:
Erstellung eines Emissionskatasters und einer Emissionsprognose für Feuerungsanlagen im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher des Belastungsgebietes Ruhrgebiet Ost. (1987)
- Berichte Nr. 74: BEIER, R. und M. BUCK:
Möglichkeit und Grenzen der Nutzung von Luftqualitätsdaten aus diskontinuierlichen Messungen gemäß TA-Luft. (1988)
- Berichte Nr. 75: KOCH, E. und P. ALTENBECK:
Prinzipien des prophylaktischen Immissionsschutzes. (1988)
- Berichte Nr. 76: J. GIEBEL:
Eine vereinfachte Methode zur Immissionsimulation. (1988)
- Berichte Nr. 77: KÜLSKE, S., R. BEIER und H.-U. PFEFFER:
Die Smoglage vom 14. bis 22. Januar 1987 in Nordrhein-Westfalen und ihre Ursachen. (1988)