

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

Nr.34

Stickstoffoxide
Emissionssituation in
NW und in der BRD

Herausgeber:

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

D-4300 Essen 1

1983

ISSN 0720-8499

Zusammenfassende Darstellung der
Emissionssituation in Nordrhein-
Westfalen und der Bundesrepublik
Deutschland für Stickstoffoxide

In-Hand
G. Bröker
✓

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Summary

1. Einleitung
 2. Bildung von Stickoxiden bei der Verbrennung
 - 2.1. Thermisches Stickoxid
 - 2.2. Promptes Stickoxid
 - 2.3. NO_x -Bildung aus Brennstoff-Stickstoff
 3. Konstruktive und betriebstechnische Einflußgrößen bei der Stickoxid-Bildung
 4. Emissionsentwicklung während der letzten 20 Jahre
Möglichkeiten zur Emissionsverminderung
 - 4.1. Hausbrand
 - 4.1.1. Kohlefeuerungen
 - 4.1.2. Ölfeuerungen
 - 4.1.3. Gasfeuerungen
 - 4.2. Verkehr
 - 4.3. Kraftwerke, Industriefeuerungen
 5. Derzeitige Jahresemissionen und Auswirkungen von Minderungsmaßnahmen
- Schrifttum
Bildanhang

Bestand-Nr.: 22617

Standort-Nr.: 20.02/1004

ZUSAMMENFASSENDER DARSTELLUNG DER EMISSIONSSITUATION IN NORDRHEIN-
WESTFALEN UND DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND FÜR STICKSTOFFOXIDE

G. Bröker

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

Im Hinblick auf die besondere Bedeutung, die den Stickoxiden als Reaktionspartner bei der photolytischen Ozonbildung und damit als einer der vermuteten Hauptursachen für das "Fichten- und Tannensterben" zukommt, wird in dieser Arbeit beschrieben, wie sich in den Jahren von 1960 bis 1980 die Emissionsanteile der einzelnen relevanten Emittentengruppen verändert haben.

Im Weiteren werden die Möglichkeiten zur Verminderung der Emissionen beschrieben. Unter Berücksichtigung der Minderungspotentiale ergeben sich daraus jene Emittentengruppen, bei denen administrative Maßnahmen effektiv wirksam werden können.

S u m m a r y

The oxides of nitrogen are of special importance to the photolytic formation of ozone. As such are regarded to be one of the likely causes responsible for the death of fir and spruce trees. In view of this fact the changes are discussed in this publication that occurred between 1960 and 1980 at the various relevant sources with regard to the amounts emitted.

Furthermore, the possibilities of reducing the emissions are discussed. Considering the potentials for reductions, those emission sources are identified which could be effectively controlled by administrative measures.

1. E i n l e i t u n g

Die Ursache für das in vielen Gegenden der Bundesrepublik beobachtete "Waldsterben" wird in dem Zusammenwirken verschiedener Schadstoffkomponenten gesucht.

Da Photo-Oxidantien, insbesondere Ozon, zur Schädigung der Vegetation beitragen können, muß zwangsläufig auch dem NO_x eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die Emission von NO_x hat im Gegensatz zu anderen Schadstoffen in den vergangenen Jahren in der Bundesrepublik und in Nordrhein-Westfalen permanent zugenommen. Neben dem gestiegenen Energiebedarf ist außerdem eine Zunahme der spezifischen Emissionen z.B. durch Wirkungsgraderhöhungen bei der Energieumwandlung dafür verantwortlich.

Zu einer effektiven Verbesserung der Emissionssituation sollten folgende Maßnahmen bei den Hauptemittentengruppen getroffen werden:

- Verminderung der NO_x -Emissionen aus Kraftfahrzeugen durch katalytische Abgasreinigung
- Verbrennungstechnische Maßnahmen bei Kraftwerken, so daß weniger NO_x gebildet wird und simultane SO_2/NO_x -Abgasreinigung statt einer nach der Großfeuerungsanlagen-Verordnung geforderten alleinigen SO_2 -Abscheidung.

Eine prognostizierende Abschätzung der Emissionsentwicklung hat aber zu berücksichtigen, daß infolge der Lebensdauer der Kraftfahrzeuge und der Voraussetzung des notwendigen Angebots von bleifreiem Benzin Maßnahmen in diesem Bereich einen erheblichen Zeitraum benötigen, um wirksam werden zu können.

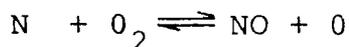
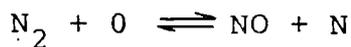
Ebenso müssen bei älteren Kraftwerksblöcken Übergangszeiten für den Bau von Rauchgasreinigungs-Anlagen gewährt werden, so daß sich neue Emissionsgrenzwerte nur mit einem großen Zeitverzug auswirken können. In einer Zwischenlösung könnten bei älteren Blöcken die Stickoxid-Emissionen durch feuerungstechnische Maßnahmen reduziert werden.

2. Bildung von Stickoxiden bei der Verbrennung

Die Bildung von Stickoxiden bei Verbrennungsvorgängen ist ein so komplexer Vorgang, daß eine geschlossene Theorie bisher nicht entwickelt werden konnte. Es sind nach jetzigem Wissensstand drei grundsätzlich unterschiedliche Bildungsmechanismen zu unterscheiden:

2.1. Thermisches Stickoxid

Die thermische Bildung von NO aus molekularem Stickstoff und Sauerstoff ist wegen der hohen Aktivierungsenergie dieser Reaktion stark temperaturabhängig. Dieser von ZELDOVIC erstmals beschriebene Vorgang würde auch nur bei Erwärmung ablaufen.



Kinetisch ist der erste Reaktionsschritt der wesentlich langsamere und somit bestimmend für die Geschwindigkeit.

Unter Vernachlässigung der Rückreaktion, bei Verwendung der Arrheniusbeziehung und bei Annahme des Sauerstoff-Dissoziationsgleichgewichts kann die kinetische Gleichung zusammenfassend so geschrieben werden:

$$\frac{d(\text{NO})}{dt} = 5,74 \cdot 10^{14} \cdot \exp\left(-\frac{561000}{R \cdot T}\right) \cdot (\text{N})^{\frac{1}{2}} \cdot (\text{O})^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\text{Mol}}{\text{cm}^3 \cdot \text{s}}\right) \quad (1)$$

Während der Sauerstoff-Partialdruck bzw. die Luftüberschußzahl auf die NO-Bildungsrate einen relativ geringen Einfluß hat, steigt diese mit der im Exponenten stehenden Temperatur erst langsam, dann aber rasch an. In Abb. 1 wurde die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante K in einem Koordinatensystem mit regulärer Teilung graphisch dargestellt.

Mit Sauerstoff und Stickstoff im Mischungsverhältnis der atmosphärischen Luft stehen bei 2000°C 1,5 Vol.-% NO, bei 3000°C schon 5,3 % NO im Gleichgewicht [1] . Gleichzeitig nimmt mit steigender Temperatur die Bildungsgeschwindigkeit zu. Die Zeit zur Einstellung des Gleichgewichts beträgt bei 1500°C etwa 30 Stunden und bei 3000°C nur noch 10^{-6} Stunden [2] .

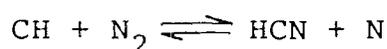
Die thermische Bildung von Stickoxiden findet bei Kesselfeuerungen im wesentlichen in der Hauptreaktionszone der Flamme statt, wobei sich ein Gleichgewicht nicht einstellt und die adiabaten Verbrennungstemperaturen durch Wärmeabstrahlung immer unterschritten werden.

Eine kinetische Berechnung der NO-Bildung ist wegen der schwierigen Beschreibung der in der Praxis vorliegenden Strömungs- und Temperaturfelder nicht möglich.

2.2. Promptes Stickoxid

Zur Berechnung des thermischen Stickoxids wird vom Dissoziationsgleichgewicht zwischen atomarem und molekularem Sauerstoff ausgegangen. Das in der Flammenzone bei Verbrennung mit Luftüberschuß herrschende Übergewicht an Sauerstoff-Atomen wird zusammen mit Brennstoffradikalen für die unmittelbar in der Reaktionszone "prompt" gebildeten Stickoxide verantwortlich gemacht.

Nach FENIMORE [3] entsteht z.B. aus CH-Radikalen nach der Reaktion



atomarer Stickstoff, der nach der zweiten ZELDOVIC-Reaktion zu NO weiterreagiert.

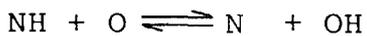
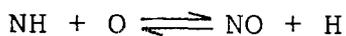
Dieser Reaktionsweg kann nach FENIMORE bei Kohlenwasserstoffflammen mit 40 % zur gesamten N-Bildung beitragen [4] . Die Reaktionen laufen im Gegensatz zur thermischen NO-Bildung im Millisekunden-Bereich ab und sind noch wenig erforscht.

2.3. NO_x-Bildung aus Brennstoff-Stickstoff

Aus dem im Brennstoff chemisch gebundenen Stickstoff (Steinkohle: ca. 1,5 % N waf; Heizöl S ca. 0,3 % N) wird bei der Verbrennung ebenfalls eine nachweisbare Menge NO gebildet. Auch hier liegt eine die Reaktionsmechanismen vollständig beschreibende Theorie noch nicht vor.

Es kann aber angenommen werden, daß die NO-Bildung aus dem Brennstoff-Stickstoff eine Zerlegung der Brennstoffmoleküle in Radikale, wie z.B. NH₂, NH, CN, N voraussetzt. Diese Zerlegung findet im Bereich der Flammenprimärreaktionszone in einem Zeitbereich von Größenordnungsmäßig 1 ms statt.

Mit atomaren Sauerstoff und OH-Radikalen, die in der Primärreaktionszone ebenfalls in Konzentrationen auftreten, die erheblich über dem thermodynamischen Gleichgewicht liegen, laufen dann zur NO-Erzeugung beispielsweise folgende Reaktionen ab:



Weiter finden der zweite Reaktionsschritt nach ZELDOVIC und verschiedene andere Reaktionen zum molekularen Stickstoff hin statt.

Unter den Randbedingungen, daß ein Gleichgewicht zwischen den Radikalen NH₂, NH, CN, O, OH besteht und daß eine Umsetzung des Brennstoff-Stickstoffs zu N₂ ausschließlich unter Mitwirkung von NO zugelassen wird, leitete FENIMORE [5] folgende Beziehung für vorge-mischte Flammen ab, die auch experimentell bestätigt wurde:

$$\frac{(\text{NO})}{(\text{NO})_{\text{max}}} = 1 - \exp \left\{ - 0,5 \cdot \left(\frac{(\text{N})}{(\text{NO})_{\text{max}}} + \frac{(\text{NO})}{(\text{NO})_{\text{max}}} \right) \right\} \quad (2)$$

mit:

- (N) : fiktive NO-Volumenkonzentration im Rauchgas bei vollständiger Umwandlung des Brennstoff-Stickstoffs in NO
- (NO) : tatsächliche NO-Konzentration im Rauchgas
- (NO)_{max} : maximale NO-Volumenkonzentration im Rauchgas für hohe Brennstoff-Stickstoffgehalte, bei gleicher Flammenführung

Auch durch andere Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß kleine Stickstoffgehalte im Brennstoff fast vollständig in Stickoxid umgesetzt werden, während bei sonst konstanten Bedingungen mit zunehmendem Stickstoffgehalt der Umsetzungsgrad abnimmt.

3. K o n s t r u k t i v e u n d b e t r i e b s t e c h - n i s c h e E i n f l u ß g r ö ß e n b e i d e r S t i c k o x i d - B i l d u n g

Als Einflußgrößen sind neben dem Stickstoffgehalt im Brennstoff die Flammentemperatur, der Sauerstoffpartialdruck und die Verweilzeit der Abgase bei hohen Temperaturen zu nennen.

Diese Haupteinflußgrößen sind von der konstruktiven Ausführung der Feuerungsanlage und der Betriebsweise und damit von den dadurch bestimmten Strömungs-, Temperatur- und Mischungsfeldern abhängig.

Die Einflußgrößen Temperatur, Druck, Sauerstoffüberschuß und Aufenthaltszeit haben einen positiven Einfluß auf die Stickoxid-Bildung; d.h. z.B., ein höherer Druck führt auch zu höherer NO-Bildung. Vergleichsweise hat aber die Temperatur den größten Einfluß.

Damit sind insbesondere folgende Konstruktions-Kenngrößen bestimmend für die NO_x -Emission der Feuerung: Wärmeleistung der Einzelbrenner, Volumenbelastung des Feuerraumes, Querschnittsbelastung des Feuerraumes, Brennergürtelbelastung, Anordnung der Brenner, Drallzahl, Mahlfeinheit der Kohle.

Eine exakte Vorausberechnung der NO-Bildung für eine gegebene Feuerung ist z. Zt. nicht möglich; hierzu wäre es erforderlich, ein gekoppeltes Gleichungssystem, das u.a. die Strömungssituation, den Energie- und Massenfluß und die Reaktionskinetik beschreibt, räumlich und zeitlich für den Bereich des Feuerraumes zu lösen.

Für eine Verminderung der NO_x -Emissionen stehend grundsätzlich folgende technische Möglichkeiten zur Verfügung:

- Substitution des Brennstoffs (Verminderung des N-Gehaltes im Brennstoff, Änderung der Ausmahlung bei Steinkohlenstaubfeuerungen, etc.)
- Feuerungstechnische Maßnahmen

- Abgasreinigungsmaßnahmen, wie Reduktion oder Abscheidung der Stickoxide.

Eine Verminderung der Stickoxid-Emissionen durch Änderung der verbrennungstechnischen Parameter kann erreicht werden, durch

- a) Temperaturverminderung der Verbrennungsgase z.B. durch Rauchgasrückführung
- b) Temperaturverminderung mit der Folge einer Verschlechterung des Wirkungsgrades wie z.B. Wassereindüsung, geringere Luftvorwärmung, geringere Brennkammerbelastung
- c) Umbau von Brennern, z.B. durch Änderung der Drallstärke von Wirbelbrennern, Änderung der Strömungsführung durch den Einbau von Leitblechen, Neigungsänderung der Brenner; Einbau neuer, NO_x -armer Brenner
- d) Zwei-Stufenverbrennung: Die Primärluft wird unterstöchiometrisch mit einer Luftverhältniszahl von 90 % bis 95 % zugeführt; der Sekundärluftanteil beträgt dann 15 bis 30 %.

Die Wirksamkeit der o.a. Maßnahmen kann nur für den Einzelfall bei Abschätzung des zur Verfügung stehenden Minderungspotentials näherungsweise bestimmt werden.

Anhaltswerte sind in Tabelle 1 aufgeführt. Diese Werte können aber nur einen ersten Überblick über die Effizienz derartiger Maßnahmen geben.

Tabelle 1: Wirksamkeit von feuerungstechnischen NO_x -Minderungsmaßnahmen [6, 7, 8]

Maßnahme	NO_x -Emissionsminderung		
	bei Gas in %*	bei Öl in %*	bei Kohle in %*
1. Luftüberschußfaktorverringerung	10-40	10-20	15-25
2. Mehrstufenverbrennung	15-55	10-40	20-50
3. Rauchgasrückführung	10-70	10-25	10-15
4. Reduzierte Luftvorwärmung	50	40	-
5. Dampf- oder Wassereinspritzung	60	40	-
6. Kombination (1) + (2)	15-55	15-45	20-55
7. Brennstoffe mit geringerem N-Gehalt	-	40	20
8. Verringerte Wärmebelastung	20	20	20

*) bezogen auf NO_x -Emissionen aus Feuerungen ohne NO_x -Minderungsmaßnahmen.

4. Emissionsentwicklung in den letzten 20 Jahren Möglichkeiten zur Emissions- verminderung

4.1. Hausbrand

4.1.1. Kohlefeuerungen

Der Verbrauch an Steinkohle und Steinkohlenbriketts ist im Bereich Hausbrand und Kleinverbrauch in der Bundesrepublik von 1960 bis 1980 von 702 PJ/a auf etwa 158 PJ/a und in Nordrhein-Westfalen von 250 PJ/a auf 64 PJ/a zurückgegangen (Abb. 2 u. 3).

Der Anteil der Steinkohlefeuerungen an der Emittentengruppe Hausbrand/Kleinverbrauch ging in diesem Zeitraum in der Bundesrepublik von 53,5 % auf 6,4 % und in Nordrhein-Westfalen von etwa 63,5 % auf 10 % zurück.

Ein ähnlicher Rückgang ist auch für den Einsatz von Braunkohlen-Briketts festzustellen; für die Bundesrepublik von 22,4 % auf 3 % und für Nordrhein-Westfalen von 21,6 % auf 3 %. Der absolute Verbrauch an Braunkohlen-Briketts lag 1980 für die Bundesrepublik bei 74 PJ/a und für Nordrhein-Westfalen bei 19 PJ/a.

Insgesamt ging der Einsatz von Steinkohle, Steinkohle-Briketts und Braunkohle-Briketts im Bereich Hausbrand und Kleinverbrauch in dem Zeitraum von 1960 bis 1980 um im Mittel 76 % zurück.

Da angenommen werden kann, daß der spezifische Emissionsfaktor für Stickoxide etwa konstant geblieben ist, muß davon ausgegangen werden, daß sich die Stickoxidemissionen in diesem Bereich ebenfalls um etwa 76 % verringert haben.

Die absoluten Stickoxid-Emissionen dieser Emittentengruppe beliefen sich 1980 in der Bundesrepublik auf $14,7 \cdot 10^3$ t/a und in Nordrhein-Westfalen auf etwa $5,4 \cdot 10^3$ t/a (jeweils berechnet als NO_2).

Zur Emissionsverminderung werden in diesem Bereich keine speziellen Maßnahmen angewandt. Auch für die Zukunft ist nicht zu erwarten, daß die Überwachung der Stickoxid-Emissionen sinnvoll in eine Vorschrift der 1. BImSchV einfließen könnte.

4.1.2. Ölfeuerungen

Im Gegensatz zum Steinkohleverbrauch im Bereich Hausbrand und Kleingewerbe ist der Verbrauch an Heizöl EL in dem Zeitraum von 1960 bis 1980 in der Bundesrepublik von 244 PJ/a auf 1614 PJ/a und in Nordrhein-Westfalen von 43 PJ/a auf 336 PJ/a, um 660 % bzw. 780 % steil angestiegen (Abb. 2 und 3).

Der Anteil des Heizöleinsatzes in dieser Emittentengruppe stieg damit etwa von 22 % auf 65 % in der Bundesrepublik bzw. 53 % in Nordrhein-Westfalen.

Infolge der verbesserten Überwachung der Ölheizungen hinsichtlich Wirkungsgrad bzw. Kohlenmonoxid-Emissionen - es besteht eine negative Korrelation zwischen Kohlenmonoxid- und Stickoxidbildung - muß davon ausgegangen werden, daß im Zeitraum von 1960 bis 1980 auch der spezifische Emissionsfaktor für Stickoxide zugenommen hat.

Die absoluten Stickoxid-Emissionen dieser Emittentengruppe betragen 1980 in der Bundesrepublik etwa $80,7 \cdot 10^3$ t/a und in Nordrhein-Westfalen etwa $16,8 \cdot 10^3$ t/a (jeweils berechnet als NO_2). Auch hier ist nicht zu erwarten, daß zukünftig eine Überwachung der NO_x -Emissionen stattfinden wird.

Andererseits besteht die Möglichkeit, den Einbau von NO_x -armen Brennern zu fordern. Vom Umweltbundesamt wurde vorgeschlagen, Brenner, die weniger als 75 bzw. 100 ppm NO_x emittieren, mit einem Umweltzeichen zu versehen. Selbstverständlich sollten diese Brenner außerdem noch Anforderungen hinsichtlich CO_2 , CO und Rußzahl erfüllen, die über die Forderungen der 1. BImSchV hinausgehen [9] .

Untersuchungen von KREMER et al. [10] haben gezeigt, daß die Bildung von Stickstoffoxiden nur in sehr geringem Maße von der spezifischen Brennkammerbelastung abhängig ist. Damit erscheint durch

konstruktive Optimierung der Brenner ein größerer Erfolg hinsichtlich der NO_x -Minderung möglich. So wird z.B. von der japanischen Firma Nippon Furance Kogyo Kaisha Ltd., Yokohama, ein spezieller Brenner vertrieben, für dessen NO_x -Emissionen bei 4 % O_2 nur 50 ppm angegeben wird. Nach Angaben der Firma soll dieser sog. NFK-Brenner etwa 20 bis 30 % mehr als übliche Brenner kosten.

4.1.3. Gasfeuerungen

Wie die Ölfeuerungen haben auch die Gasfeuerungen von 1960 bis 1980 stark an Bedeutung gewonnen.

Der Verbrauch an Gas ist im Bereich Hausbrand und Kleingewerbe in diesem Zeitraum in der Bundesrepublik um etwa 870 % von 73 PJ/a auf 632 PJ/a und in Nordrhein-Westfalen um etwa 1360 % von 16 PJ/a auf 217 PJ/a gestiegen (Abb. 2 und 3).

Der Anteil des Gasverbrauchs in dieser Emittentengruppe stieg damit im Zeitraum 1960 bis 1980 von 5,5 % in der Bundesrepublik auf 25,5 % und in Nordrhein-Westfalen von 4 % auf 34 %. Die Stickoxidemission betrug 1980 in der Bundesrepublik etwa $31,6 \cdot 10^3$ t/a und in Nordrhein-Westfalen etwa $10,9 \cdot 10^3$ t/a (jeweils ber. als NO_2).

Eine Überwachung der NO_x -Emissionen findet auch bei den Gasfeuerungen im Hausbrand- und Kleinverbrauch-Bereich nicht statt. Die Konstruktion des Brenners, insbesondere die Gestaltung des Mischkopfes, hat auch hier einen maßgeblichen Einfluß auf die NO_x -Emission. Eine Absenkung des Emissionsniveaus in diesem Bereich läßt sich praktisch nur durch Optimierung der Brenner erreichen. Es wäre das Ziel administrativer Maßnahmen, eine gleichgewichtige Verminderung und Überwachung der Emissionskomponenten CO , NO_x und Kohlenwasserstoffe und SO_2 bei Kohle- und Ölfeuerungen durchzusetzen.

Zwischen den Stickoxid- und Kohlenmonoxidemissionen besteht eine Wechselwirkung; eine Verschiebung des Problems zu größeren CO -Emissionen ist zu vermeiden.

4.2. Verkehr

Da im gesamten Bereich des Verkehrs (Straßen-, Schienen-, Schiffs- und Luftverkehr) für die NO_x -Emission praktisch nur der Straßenverkehr relevant ist, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf diese Quellengruppe.

Die Bildung von Stickoxiden wird durch Temperatur und Sauerstoffgehalt in den Brennräumen des Motors wesentlich beeinflusst. Bei Luftüberschüssen zwischen 5 und 10 % erreicht die Stickoxidkonzentration des Otto-Motors ihren Maximalwert. Bei einer weiteren Erhöhung des Luftüberschusses ist infolge der abnehmenden Verbrennungstemperatur eine Verringerung der Stickoxidemissionen festzustellen. Die gegenläufigen Tendenzen der CO - und NO_x -Konzentration machen eine Verminderung beider Komponenten mit verbrennungstechnischen Maßnahmen problematisch (Abb. 4).

Die Emissionen der Fahrzeugmotoren sind auch betriebsabhängig, so daß für verschiedene Fahrmodi zugehörige Emissionen ermittelt wurden [11]. Die Fahrmodi charakterisieren bestimmte Verkehrssituationen, wie z.B. "Verkehr auf Ausfallstraßen" oder "flüssiger Stadtverkehr". Eine besondere Bedeutung kommt hier dem sog. Europa-Test zu (Abb.5).

Die nach der 1. Grenzwertabsenkung zur Verringerung der CO - und Kohlenwasserstoff-Emissionen durchgeführte Abmagerung des Kraftstoffgemisches hatte gegenläufig einen Anstieg der im Europäischen Fahrzyklus ausgeworfenen NO_x -Emissionen zur Folge. PKW des Jahres 1977 beispielsweise haben durchschnittlich 30 % höhere NO_x -Emissionen als PKW aus den Baujahren 1970 und früher. Da außerdem der Bestand an Fahrzeugen zugenommen hat, stieg die NO_x -Emission in der Bundesrepublik im Bereich Verkehr von 1970 bis 1980 von $820 \cdot 10^3$ t/a auf $1317 \cdot 10^3$ t/a und in Nordrhein-Westfalen von $221 \cdot 10^3$ t/a auf $368 \cdot 10^3$ t/a. Gegenüber 1960 betrug die Zunahme etwa 300 %. Die Veränderungen im durchschnittlichen Abgasverhalten von PKW in den letzten 10 Jahren lassen sich zusammenfassend wie folgt charakterisieren:

- um 40 % geringere CO-Emissionen
- um 24 % geringere Kohlenwasserstoff-Emissionen
- um 30 % höhere NO_x-Emissionen.

Unter Berücksichtigung der höheren Fahrleistung ergibt sich für die Bundesrepublik bzw. Nordrhein-Westfalen eine erhebliche Zunahme der NO_x-Emissionen, während bei Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen keine Zunahme mehr zu verzeichnen ist.

Beim Vergleich der beiden Verursachergruppen ist festzustellen, daß bei Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen, wegen des über 90-%igen Einsatzes von Ottomotoren, die leichten Fahrzeuge unter 3500 kg die Gesamtemission bestimmen. Bei den Stickoxiden stammt jedoch ein erheblicher Anteil von 25 % aus den schweren Dieselfahrzeugen. Die für 1982 von der EG beschlossene Grenzwertabsenkung um 10 % wird die NO_x-Situation vermutlich weiter verschlechtern, da dann ein Summengrenzwert für Kohlenwasserstoffe und NO_x eingeführt wird. Im Hinblick auf eine Minimierung des Kraftstoffverbrauchs wird vermutlich die Kohlenwasserstoff-Emission zu Lasten der NO_x-Emission vermindert. Zur Erfüllung der bisherigen Grenzwerte wurden ausschließlich verbrennungstechnische Maßnahmen angewandt. Durch eine verbesserte Gemischaufbereitung und durch den Einsatz moderner Zündanlagen, durch Optimierungsarbeiten, zum Beispiel an der Brennraumgestaltung, führten diese Konzepte auch zu einem gleichzeitig verminderten Kraftstoffverbrauch.

Die Grenzwerte für NO_x-, CO- und Kohlenwasserstoff-Emissionen sind in den USA und Japan erheblich geringer als in Europa. Damit wird dort der Einsatz von katalytischen Abgasreinigungseinrichtungen, die aber bleifreies Benzin voraussetzen, oder evtl. Schichtlademotoren erforderlich.

Multifunktionelle Katalysatoren mindern nicht nur die oxidierbaren Schadstoffe im Autoabgas, sondern gleichzeitig die nur reduktiv zu beseitigenden Stickoxide [12]. Da gegenüber einem Zweibett-Katalysator weniger fettes Gemisch notwendig ist, ist auch der Kraftstoffverbrauch geringer; eine Sekundärluftversorgung ist nicht erforderlich.

Vor dem sog. Dreiwege-Katalysator ist eine -Sonde zur O_2 -Messung eingebaut, die über eine elektronische Regelung mit dem Gemisch-aufbereitungssystem verbunden ist (Abb. 6).

Die Katalysator-Alterung und damit das Wechsel-Intervall wird hauptsächlich durch zwei physikalisch-chemische Vorgänge verursacht. Reaktionsprodukte der Kraftstoff- und Schmieröl-Additive können die aktive Phase vergiften und es können durch Temperaturspitzen oberhalb der Betriebstemperatur thermische Schädigungen des Katalysators auftreten.

Eine geringfügige Vergiftung kann auch bei der Verwendung von sog. "Blei-freiem" Benzin erfolgen, da auch dieses noch geringe Mengen Blei enthalten kann. Nachteilig wirkt sich auch der Phosphor- und Zink-Gehalt in Schmierölen aus.

Katalysatoren zur Abgasreinigung werden auch von deutschen Automobil-firmen in Autos eingebaut, die nach den USA oder Japan exportiert werden.

Eine Verbesserung in Europa wird aufgrund der Schwierigkeiten, eine gemeinsame Strategie zu finden, auf absehbare Zeit kaum zu erreichen sein. Eine wesentliche Frage dürfte hier die Festlegung eines in Europa allgemein gültigen minimalen Benzin-Blei-Gehaltes sein.

Durch verbrennungstechnische Modifikationen sind keine entscheidenden Fortschritte zu erwarten.

4.3. Kraftwerke, Industriefeuerungen

Da die TA-Luft 74 für genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen nur allgemein forderte, NO_x -Emissionen soweit wie möglich zu begrenzen, kamen hier technische Aktivitäten zur Verminderung dieser Emissionen nur mühsam in Gang.

Erst durch die Entwicklung in den USA und als daraufhin Emissionsgrenzwerte im Vorentwurf der Großfeuerungsanlagenverordnung festgelegt werden sollten, wurden mehrere Entwicklungsprogramme begonnen, um verschiedene Minderungsmaßnahmen zu erproben.

Die Entwicklung der NO_x -Emission aus Kraftwerken zeigt von 1960 bis 1980 eine Zunahme in der Bundesrepublik um 96 % auf $984 \cdot 10^3$ t/a und in Nordrhein-Westfalen um 85 % auf $540 \cdot 10^3$ t/a (gerechnet als NO_2).

In demselben Zeitraum nahm die NO_x -Emission aus Industriefeuerungen in der Bundesrepublik um 25 % auf absolut $252 \cdot 10^3$ t/a und in Nordrhein-Westfalen um 33 % auf $110 \cdot 10^3$ t/a ab (Abb. 7 u. 8).

Grundsätzlich bieten sich zur Verminderung der NO_x -Emissionen folgende Möglichkeiten:

- Maßnahmen zur Brennstoffveredelung
- Beeinflussung der Verbrennungsbedingungen
- Reinigung des Abgases.

Verfahren zur Kohleaufbereitung und Kohleverflüssigung kommen nach jetzigem Kenntnisstand zur NO_x -Minderung nicht in Betracht. Brennstoff-Stickstoff kann durch hydromechanische Aufbereitung und bei der Kohleverflüssigung nicht entfernt werden.

Durch Kohlevergasung bzw. Kohleteilvergasung mit Restkoksverbrennung und nachgeschaltetem kombinierten Gasturbinen-/Dampfturbinen-Prozeß lassen sich relativ hohe elektrische Wirkungsgrade erzielen. Durch Abscheidung von NH_3 und HCN werden evtl. geringere NO_x -Emissionen erreicht. Von den VEW ist im Gersteinwerk in Werne-Stockum eine Kohleteilvergasung zum Betrieb eines Kombi-Blockes geplant.

Verbrennungstechnische Modifikationen haben sich als wirksame Maßnahmen zur Minderung der NO_x -Emissionen aus Feuerungen erwiesen.

So wurde bei einer 1979 in Betrieb gegangenen Tangentialfeuerung (740-MW-Block) bei einem Luftüberschuß von 25 % ein Maximalwert von $820 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}_x$ gemessen. Dieser Wert konnte auch nach etwa 8000 Betriebsstunden festgestellt werden [13]. Der Emissionsgrenzwert für Steinkohlen-Trockenfeuerungen ist in der Großfeuerungsanlagen-Verordnung vom 22.6.83 bei $800 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}_x$ gerechnet als NO_2 für 6 % O_2 festgelegt.

In der Abbildung 9 ist eine Summenhäufigkeitsverteilung der NO_x -Emissionen eines Steinkohlen-Kraftwerkes dargestellt.

Weiterhin kann eine Verminderung der NO_x -Emission durch speziell entwickelte Brenner erreicht werden. Hier sind aus den USA Entwicklungen, wie der "Dual Register Burner", "Dual Throat Burner" oder "Distributed Mixing Burner" bekannt, mit denen erhebliche Verminderungen der NO_x -Emissionen erreicht werden konnten (Abb. 10 bis 12).

In Deutschland wurde die Feuerungsanlage des 700-MW-Kraftwerkes Weiher III mit NO_x -armen Stufenmisch-Brennern nachgerüstet. Hierdurch ergab sich eine 50 %ige Verminderung der NO_x -Emissionen von 700 vpm auf 350 vpm bei 6 % O_2 (Abb. 13).

Bei Kohlefeuerungen mit flüssigem Ascheabzug sind, um eine Überschreitung des Asche-Schmelzpunktes zu erreichen, hohe Verbrennungstemperaturen erforderlich. Damit liegen die NO_x -Emissionen mit bis zu 3000 mg/m^3 erheblich über den Werten von Trockenfeuerungen. Der Grenzwert wurde in der Großfeuerungsanlagen-Verordnung bei 1800 mg/m^3 (ger. als NO_2 bei 5 % O_2) festgelegt.

Erfolgreich wurde die Schmelzfeuerung des Kraftwerkes Walsum umgebaut. Die Zyklonfeuerung wurde durch eine Deckenfeuerung und die Brenner durch sog. Zweistufenbrenner ersetzt. Bei zusätzlicher Abgasrezirkulation von 14 % konnten Emissionen von 540 vpm bei 5 % O_2 erreicht werden.

Als eine alternative Verbrennung wird häufig die Wirbelschichtfeuerung genannt. Die Möglichkeiten zur NO_x -Minderung durch Wirbelschichtfeuerungen werden häufig überschätzt; die Emissionskonzentrationen liegen für atmosphärische Verbrennung bei 800 mg NO_x (NO_2)/ m^3 . Höhere Werte können aber bei Kohlen mit hohem Stickstoff-

gehalt auftreten. Erst die Verbrennung in der Wirbelschicht unter Druck führt zu wesentlich geringeren NO_x -Emissionen. Anlagen zur Abscheidung der Stickoxide aus dem Rauchgas werden in größerem Umfang in Japan betrieben. Von den etwa 50 Verfahren dürften sich nur wenige im Einsatz an Kohlekraftwerken bewähren (Abb. 14).

Als aussichtsreich scheinen die in Kombination mit der Abgasentschwefelung eingesetzten SCR (selectiv catalytic reduction)-Verfahren zu sein. Mit den SCR-Verfahren werden Abscheidegrade für Stickoxide von 80 % erreicht.

In der Bundesrepublik wurde das Aktivkoks-Abgasentschwefelungsverfahren der Bergbau-Forschung zu einem simultanen SO_2 -/ NO_x -Abgasreinigungsverfahren weiterentwickelt (Abb. 15). Durch Zugabe von Ammoniak vor der äußeren Schicht des Adsorbers werden die Stickoxide bei 120 bis 140°C zu über 80 % an Aktivkoks katalytisch reduziert. Gleichzeitig wird SO_2 zu mehr als 90 % adsorbiert. Die Betriebskosten des Bergbauforschungsverfahrens können durch mehrjährigen Betrieb einer Großversuchsanlage im Kraftwerk Kellermann belegt werden [15]. Diese Entwicklung wurde mit erheblichen öffentlichen Mitteln gefördert.

Tabelle 2: Simultanentfernung von SO₂ und NO_x mit Aktivkoks/Aktivkohle

Versuchs- und Demonstrationsanlagen in Japan

Verfahrens- entwicklung	Betreiber Kraftwerk		Kapazität (m ³ _n /h/MW _{el})	Bemerkungen
SHI	EPDC	Takehara	10.000/ 3	bis April 1983
	EPDC	Matsushima No.1	300.000/90	ab Herbst 1983
Mitsui (BF-Mitsui- Verf.)		Tochigi	1.000	ab 1984
		Omuta	35.000	
Hitachi	HEPCO	Ebetsu No. 3	10.000/ 3	
MHI	KEPCO	Ohmura No. 2	30.000/10	
IHI	HEPCO	Naie No. 2	10.000/ 3	

SHI : Sumitomo Heavy Industries, Ltd.
Mitsui : Mitsui Mining Co., Ltd.
Hitachi : Babcock-Hitachi K.K., Hitachi, Ltd.
MHI : Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
IHI : Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

EPDC : Electric Power Development Co.,
HEPCO : The Hokkaido Electric Power Co., Inc.
KEPCO : Kyushu Electric Power Co., Inc.

Wenig Beachtung fanden bisher die Prozeßfeuerungen. Hier sind insbesondere Schmelz-, Brenn- und Wärmeprozesse in der Metallindustrie sowie in der Steine/Erden-Industrie zu nennen. Da häufig mit hohen Temperaturen gearbeitet werden muß, ist mit höheren spezifischen Emissionsfaktoren zu rechnen als bei Kesselfeuerungen. Der Anwendung primärer NO_x-Minderungsmaßnahmen dürfte im Bereich der Prozeßfeuerungen verfahrenstechnische Grenzen gesetzt sein.

Stickoxidemissionen treten auch bei verschiedenen Prozessen der chemischen Industrie auf, z.B. bei Nitrierprozessen, Salpetersäure- und Kunstdüngerproduktion. Gegenüber den Verbrennungsprozessen ist die Gesamtemission aus diesem Emittenten-Bereich doch sehr gering. Für Salpetersäureanlagen enthält die TA-Luft 74 Emissionsgrenzwerte, die mittels katalytischer Reduktionsverfahren oder Absorptionsverfahren auch eingehalten werden.

5. D e r z e i t i g e J a h r e s e m i s s i o n e n u n d A u s w i r k u n g v o n M i n d e r u n g s m a ß n a h - m e n

Die NO_x -Emissionen (ger. als NO_2) betragen in der Bundesrepublik im Jahr 1980 für die Emittentengruppen:

Haushalt und Kleinverbrauch	127 · 10 ³	t/a	4,7 %
Verkehr	1317 · 10 ³	t/a	49,2 %
Kraftwerke	984 · 10 ³	t/a	36,7 %
Industrie-Feuerungen	252 · 10 ³	t/a	9,4 %

und in Nordrhein-Westfalen:

Haushalt und Kleinverbbrauch	33 · 10 ³	t/a	3,1 %
Verkehr	368 · 10 ³	t/a	35,0 %
Kraftwerke	540 · 10 ³	t/a	51,4 %
Industrie-Feuerungen	110 · 10 ³	t/a	10,5 %

Der Anteil der NO_x -Emissionen aus Steinkohlekraftwerken an den gesamten von Kraftwerken erzeugten NO_x -Emissionen beträgt etwa 53,7%.

Der Grenzwert für NO_x wurde in der Großfeuerungsanlagenverordnung vom 22.06.83 bei 800 mg/m³ (ger. als NO_2) für Kessel mit trockenem Ascheabzug und bei 1800 mg/m³ für Schmelzfeuerungen festgelegt. Diese Grenzwerte sind so quantifiziert, daß sie durch ausschließlich primäre, d.h. feuerungstechnische Maßnahmen erreicht werden können. Würde nun aber anstelle eines Kalk-Waschverfahrens zur SO_2 -Abscheidung ein simultan arbeitendes SO_2/NO_x -Abgasreinigungsverfahren eingesetzt, verringerten sich die Emissionskonzentrationen auf etwa:

- 200 mg/m³ (ger. als NO₂) für trockenen Ascheabzug
- 400 mg/m³ (ger. als NO₂) für Schmelzfeuerungen.

Derartige Maßnahmen, angewandt für die Alt- bzw. Neuanlagen, die nach der Großfeuerungsanlagenverordnung mit Rauchgasentschwefelungsanlagen ausgerüstet werden sollen, wären geeignet, einen weiteren Anstieg der NO_x-Emissionen aus dem Kraftwerksbereich in den nächsten Jahren zu verhindern.

Der größte Erfolg hinsichtlich der Verminderung der NO_x-Emissionen wäre im Bereich des Kraftfahrzeugverkehrs möglich. Eine Regelung ist hier aber nur auf europäischer Ebene sinnvoll, da der Einbau von Drei-Wege-Katalysatoren andere Benzinqualitäten erfordert. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß die mittlere Lebensdauer eines PKW etwa neun Jahre beträgt. Der Erfolg neuer Grenzwertregelungen, die sich an den erheblich geringeren in den USA und Japan gültigen Grenzwerten orientieren könnten, würde sich erst nach einer Verzögerung von mehreren Jahren einstellen.

Gegenüber den Branchen Kraftfahrzeuge und Kraftwerke mit hohem Minderungspotential erscheinen Maßnahmen in den anderen Bereichen, wie z.B. Hausbrand, wenig geeignet, kurzfristig eine Trendwende herbeizuführen.

S c h r i f t t u m

- [1] REMY, H.:
Lehrbuch der Anorganischen Chemie,
Bd I. 12. Auflage, Leipzig:
Akademische Verlagsgesellschaft
Gust & Portig KG 1965.
- [2] NEKRASOV, B. V.:
Lehrgang der anorganischen und allgemeinen Chemie.
Berlin: Verlag Technik 1956.
- [3] FENIMORE, C. P.:
Formation on Nitric Oxide in Premixed
Hydrocarbon Flames.
13th Symp. (Int.) Combustion.
Hrsg.: The Combustion Institute Pittsburgh,
1971, S. 373-379.
- [4] LENCKEL, W. u. R. RÖMER:
Schadstoffe aus Verbrennungsprozessen.
9. Deutsche Flammentag, Aachen 1979.
Hrsg.: VDI-Verlag GmbH.
- [5] FENIMORE, C. P.:
Formation of Nitric Oxide from Fuel Nitrogen
in Ethylene Flames.
Combustion and Flame, 19 (1972), S. 289-296.
- [6] RICCI, L. J.:
EPA Sets its Sights on Mixing CPL's NO_x Emissions.
Chemical Engineering, (Febr. 1977), S. 33-36.
- [7] SIDDIGI, A. A., J.W. TENINI und L.D.KILLION:
Control NO_x-Emissions from Fire Boxes.
Hydrocarbon Process, (Okt. 1976), S. 94-97.

- [8] THOMSON, S.J. u. R.H. CROW:
Energy Cost of NO_x Control.
Hydrocarbon Process, (Mai 1976), S. 95-97.
- [9] ROSENBUSCH, K.:
Umweltzeichen für emissionsarme
Ölzerstäubungsbrenner.
Das Schornsteinfegerhandwerk, Heft 8 (1980), S. 12.
- [10] KREMER, H. u. D. OTTO:
NO_x-Emission von Heizungsanlagen mit Öl- und
Gasbrennern.
Wärme, Gas intern., 30 (1981), S. 41-48.
- [11] MAY, H. u. E. PLASSMANN:
Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen in Großstädten
und industriellen Ballungsgebieten.
Köln: Verl. TÜV-Rheinland 1973, S.101 u. 107.
- [12] KOBERSTEIN, E. u. H. VÖLKER:
Wirkungsweise und Charakterisierung multi-
funktioneller Autoabgas-Katalysatoren.
Chem.-Ing.-Techn., 50 (1978), Nr.12, S. 905-910.
- [13] REIDICK, H.:
NO_x-arme Verbrennung bei Kohlenstaub-
Tangentialfeuerungen.
VGB-Kraftwerkstechnik, 61 (1981), Heft 9, S. 747-750.
- [14] RENTZ, O., R. HEMPELMANN u. W. HUBER:
Entwicklungsstand und Tendenzen einer NO_x-Abscheidung
aus Kraftwerkes-Rauchgasen.
Industriefeuerung, 13 (1978), S. 16-26.
- [15] KNOBLAUCH, K.:
Das BF-Verfahren zur Rauchgasentschwefelung
und NO-Reduktion.
Erzmetall, 33 (1980), 2, S. 109-114 .

B i l d a n h a n g

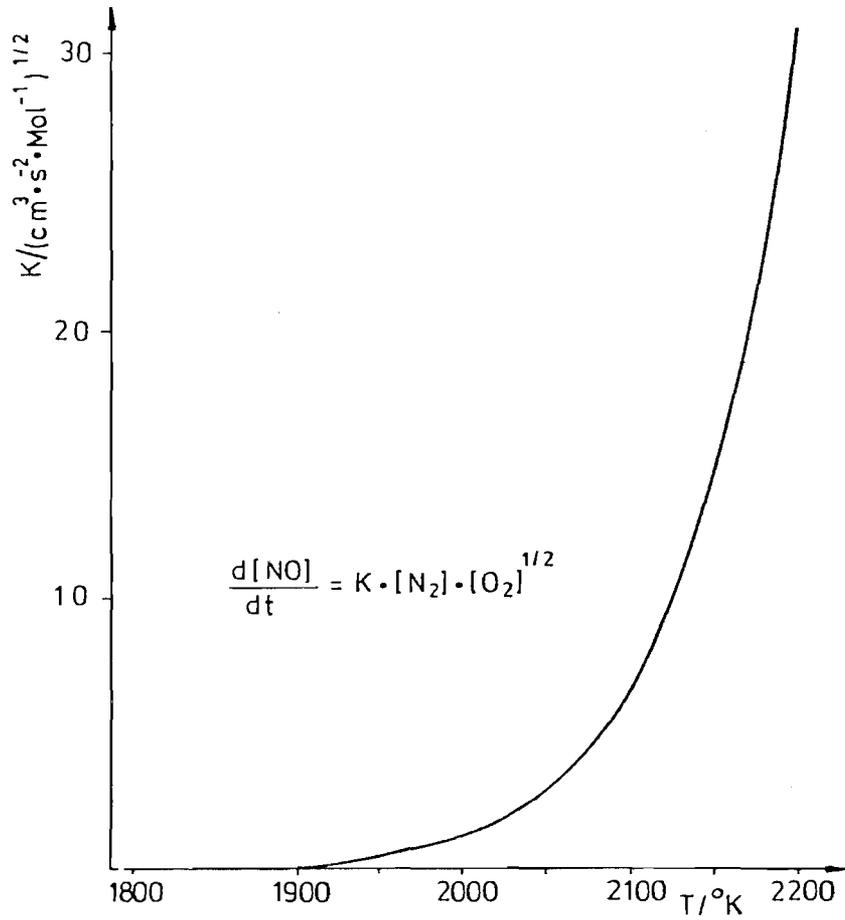


Abb. 1: Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten K

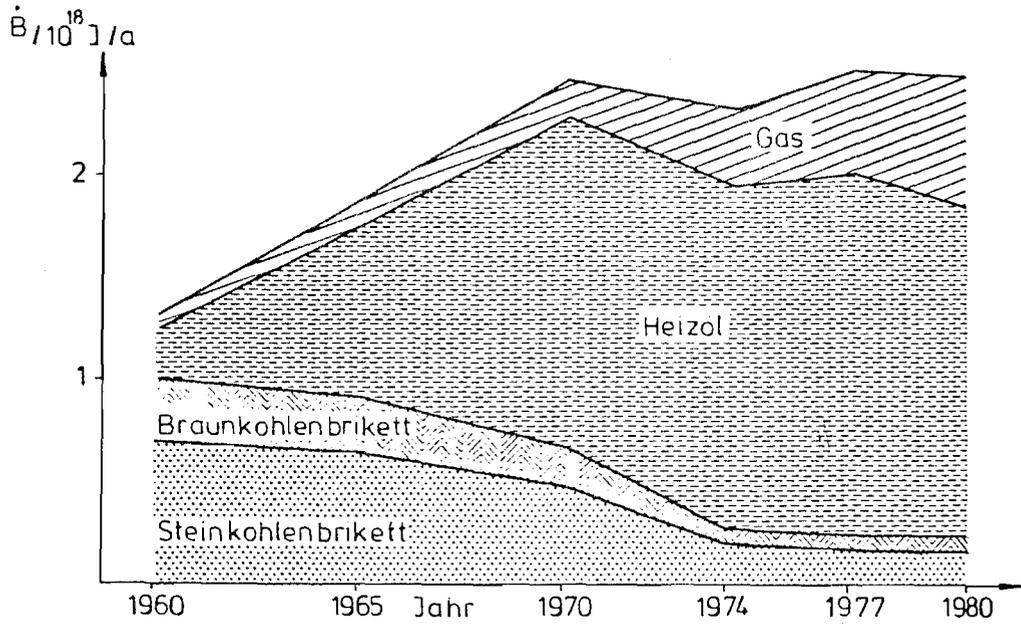


Abb. 2: Brennstoffeinsatz im Bereich Hausbrand und Kleinverbrauch in der BRD

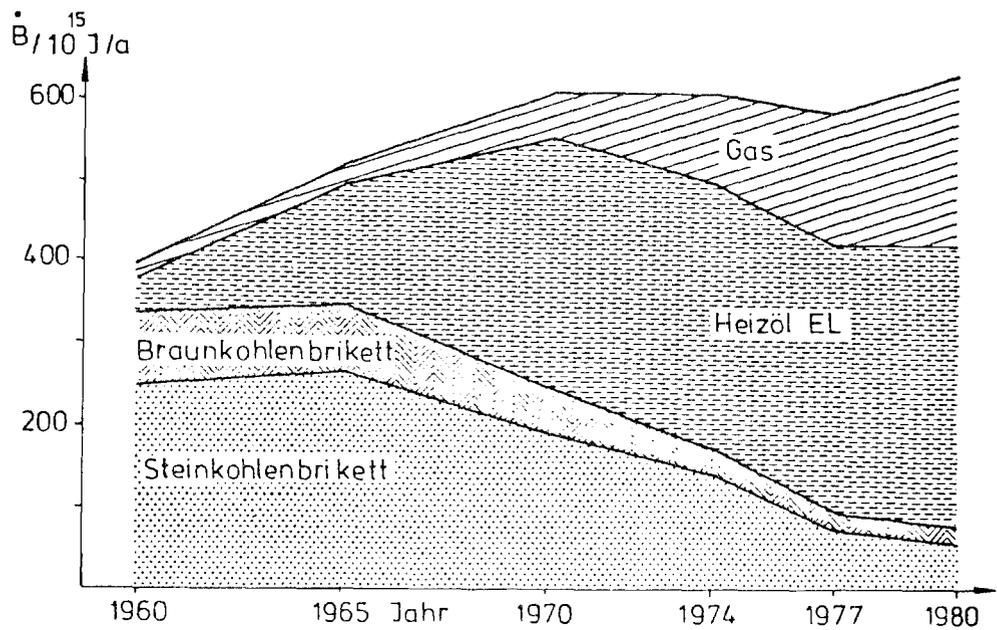


Abb. 3: Brennstoffeinsatz im Bereich Hausbrand und Kleinverbrauch in NW

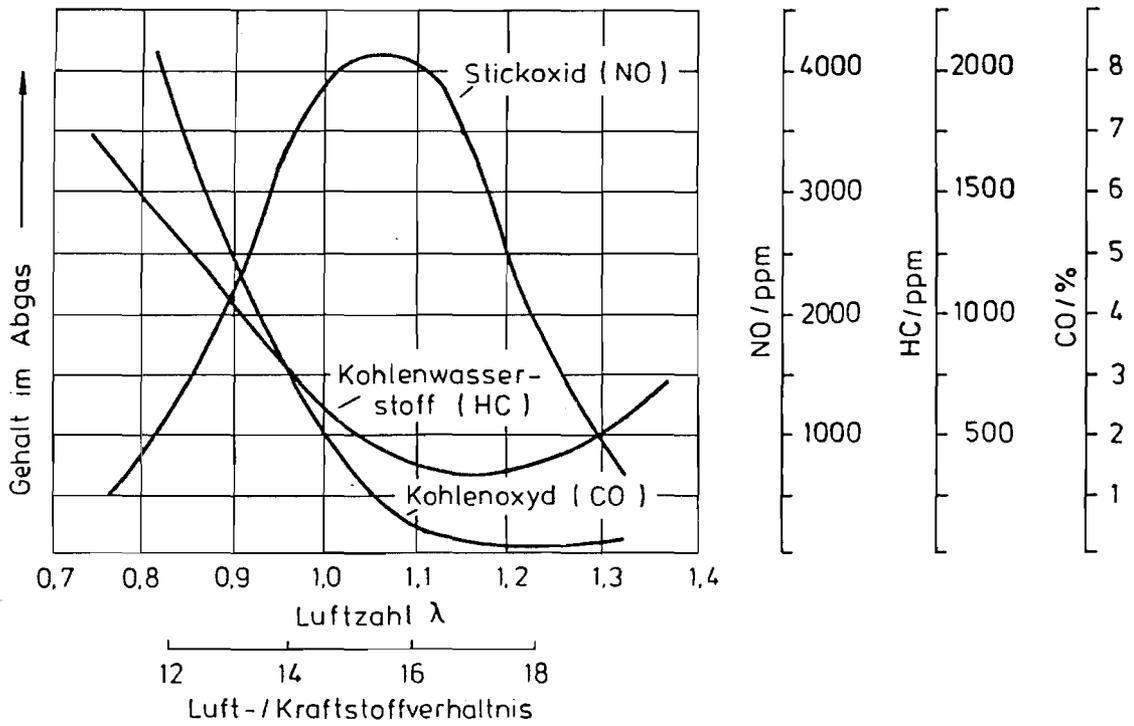


Abb. 4: Abgaszusammensetzung im Verhältnis zur Luftzahl

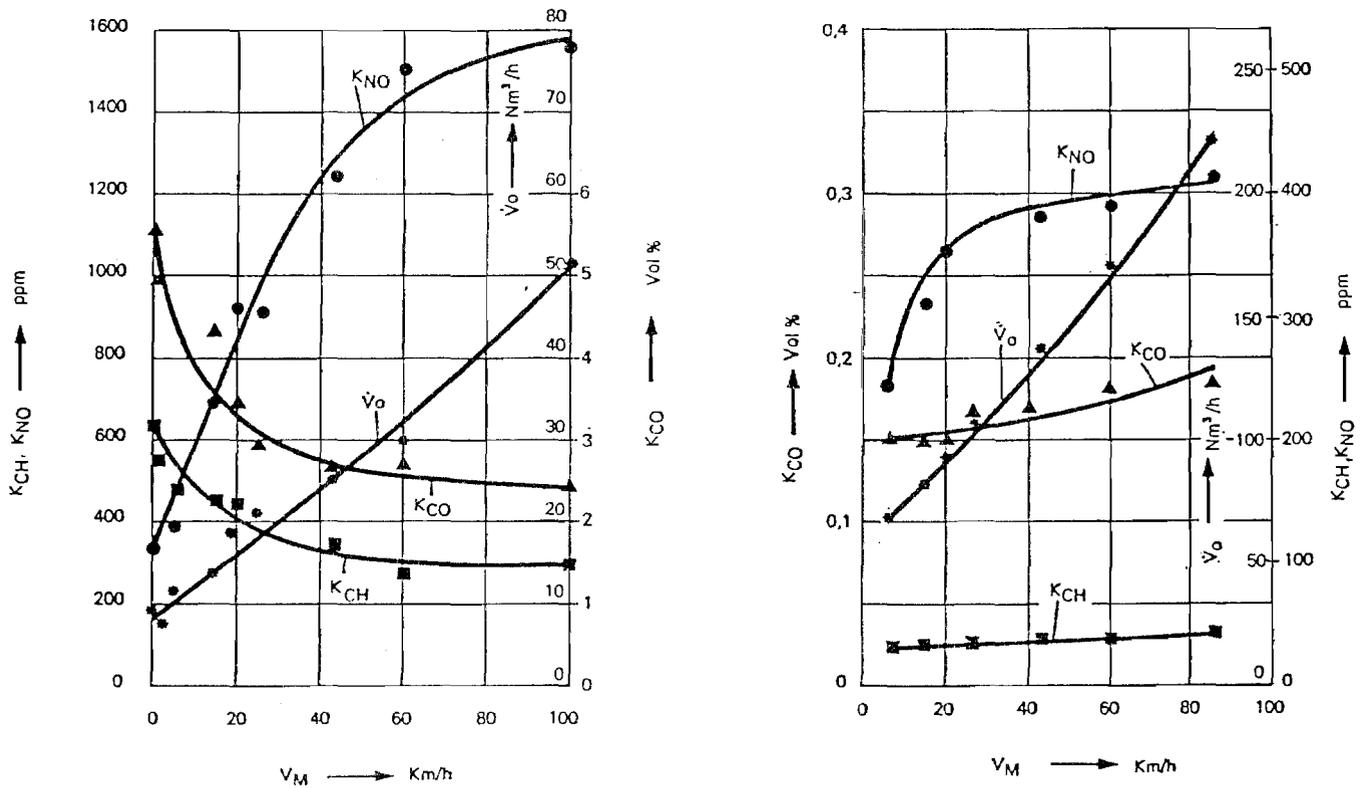


Abb. 5: CO-, CH- und NO-Konzentrationen sowie das Abgasvolumen als Funktion der mittleren Fahrgeschwindigkeit für

- a) Personenkraftwagen mit Ottomotoren
- b) Lastkraftwagen mit Dieselmotoren

(V_M : mittlere Fahrgeschwindigkeit) [11]

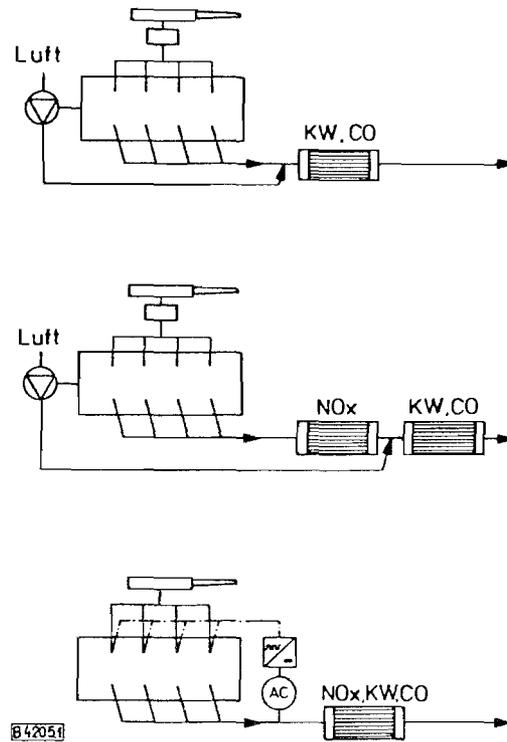
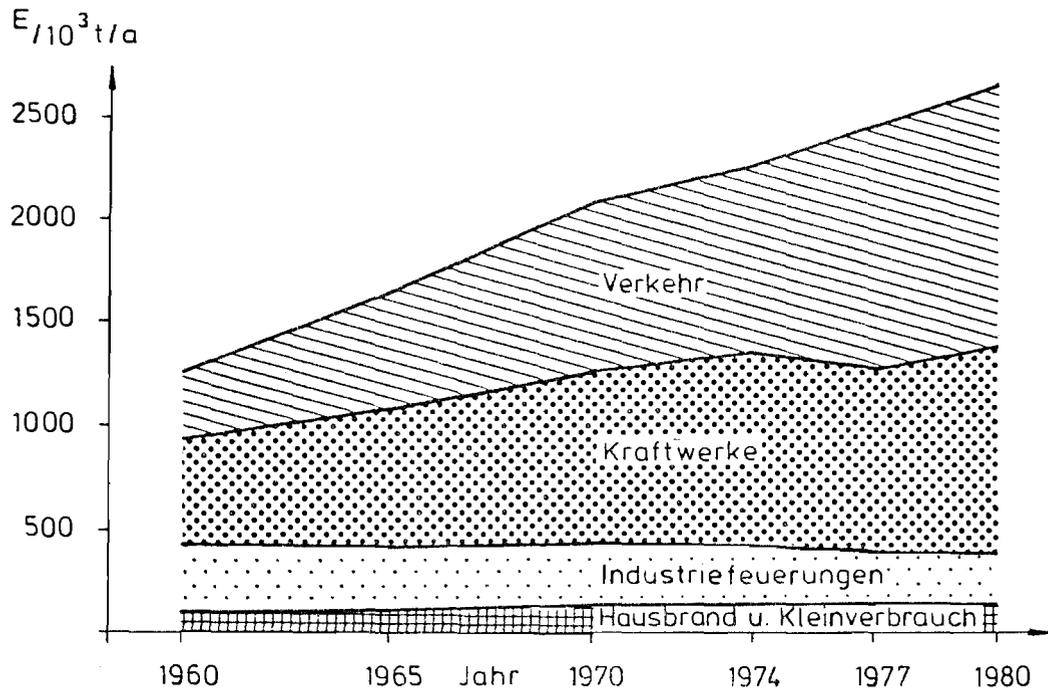
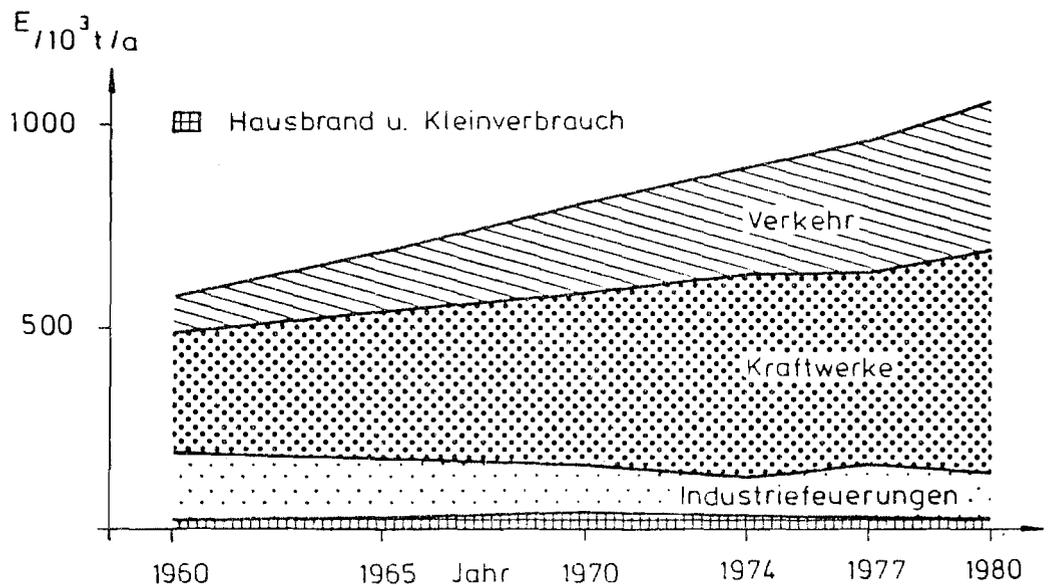


Abb. 6: Verschiedene Verfahren zur katalytischen Abgasreinigung [12]

- a) Verfahren mit Oxydationskatalysator
(z. Zt. im Einsatz)
- b) Doppelbett-Verfahren
- c) Dreiwegen-Verfahren mit Abgasregelung und multifunktionellem Katalysator

Abb. 7: NO_x -Emissionen in der BRDAbb. 8: NO_x -Emissionen in NW

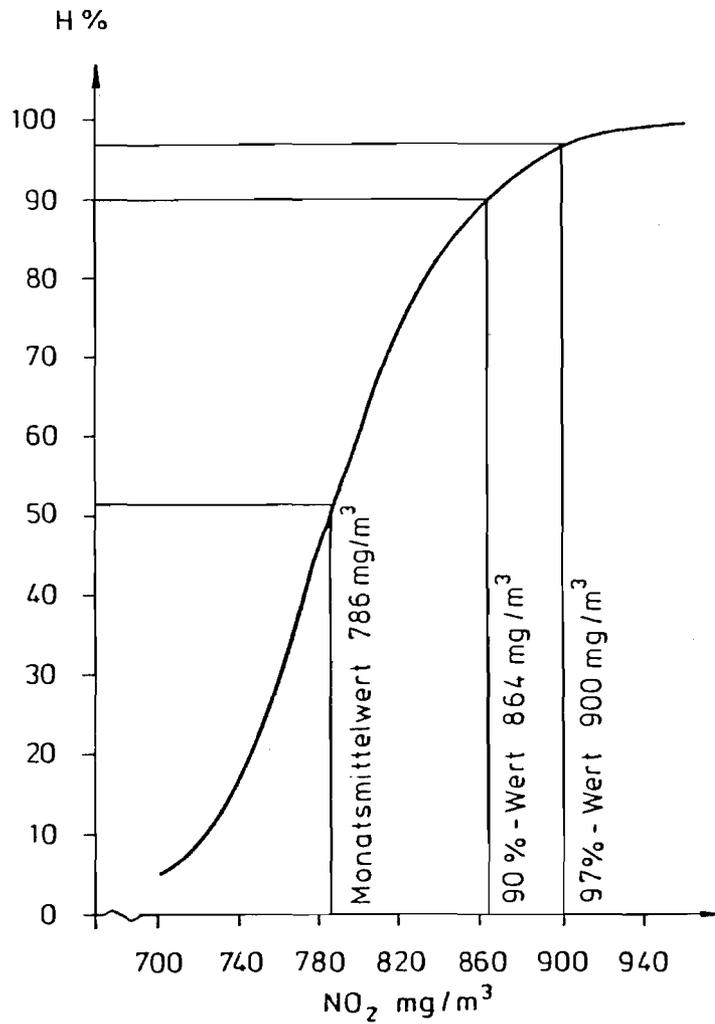


Abb. 9: Summenhäufigkeit der Halbstundenmittelwerte eines Monats, gemessen an einem Steinkohlenkraftwerk mit einer Eckenfeuerung und NO_X-armen Brennern.

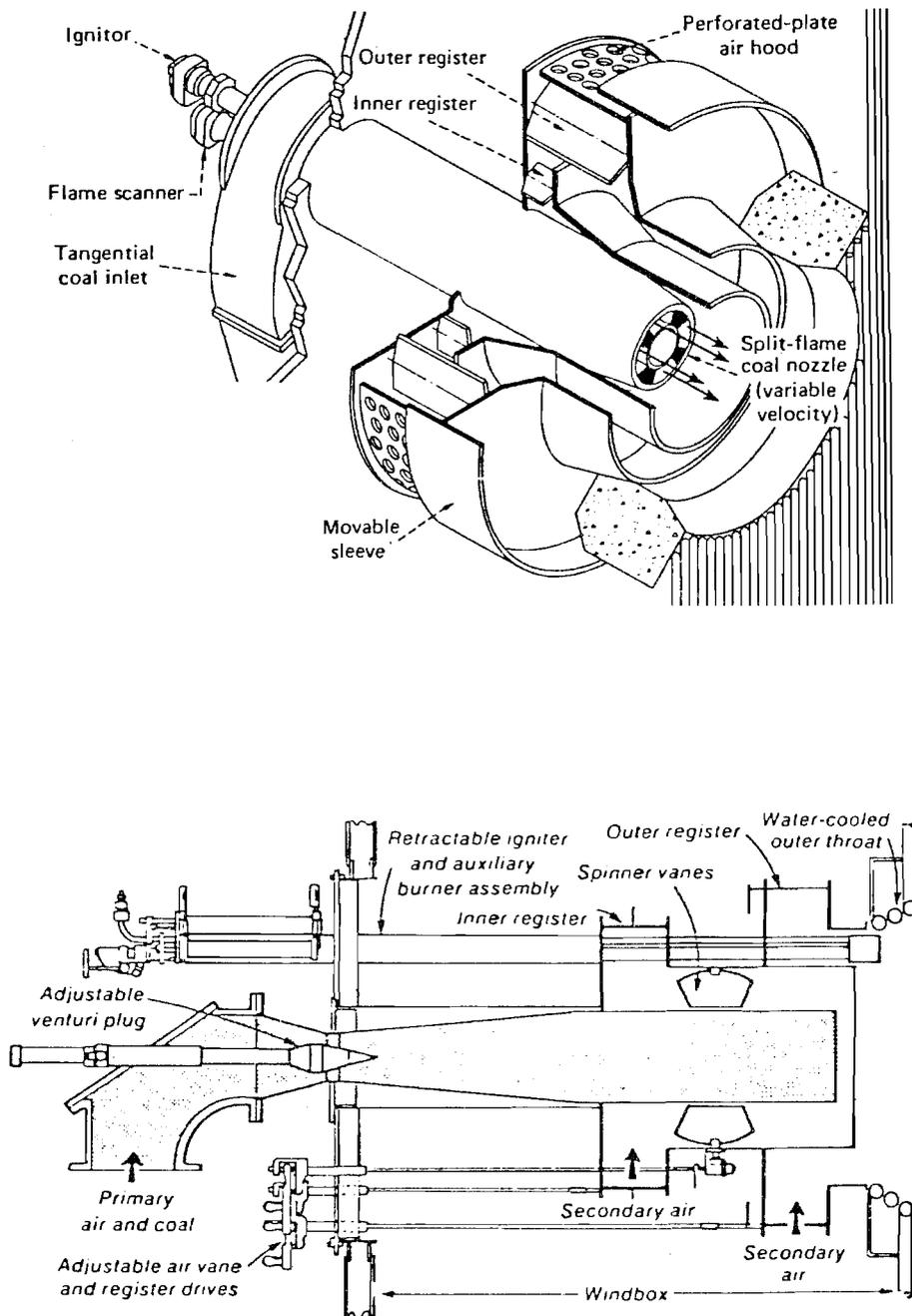


Abb. 10: Zwei Beispiele für den sog. Dual-register burner

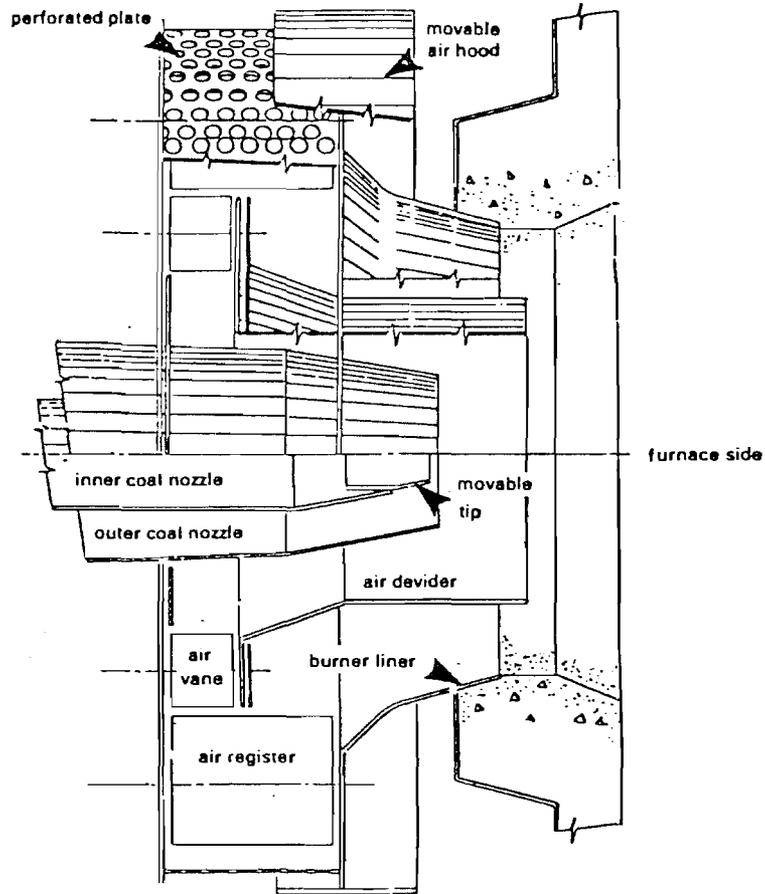


Abb. 11: Dual-throat burner

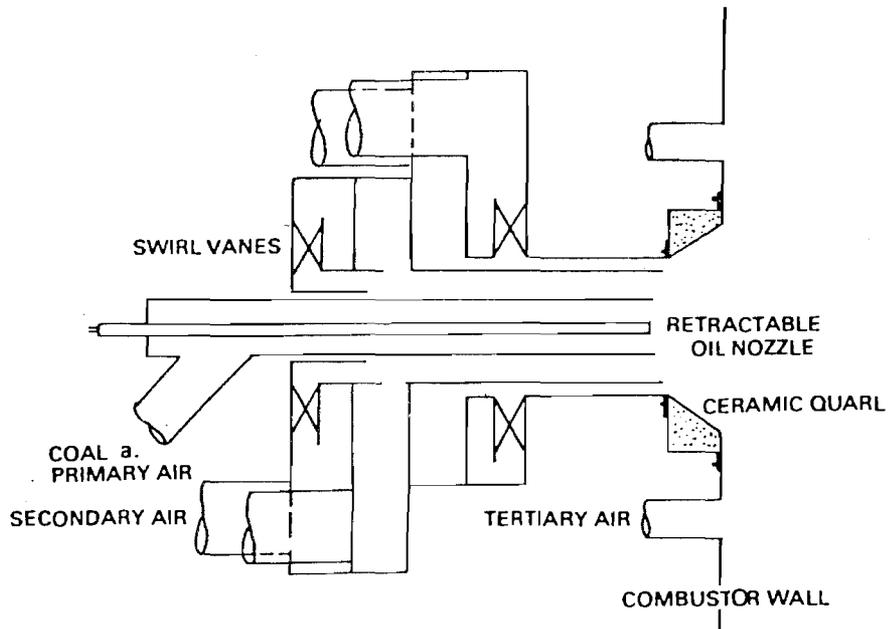


Abb. 12: Distributed-mixing burner

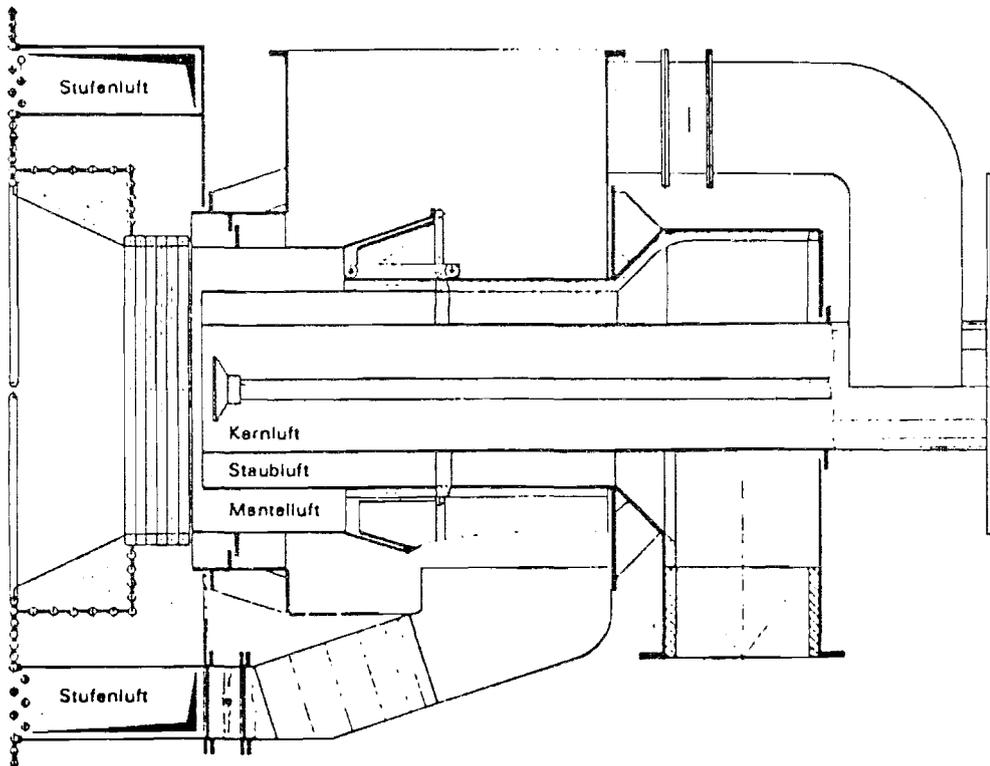


Abb. 13: Stufenmischbrenner (Steinmüller)

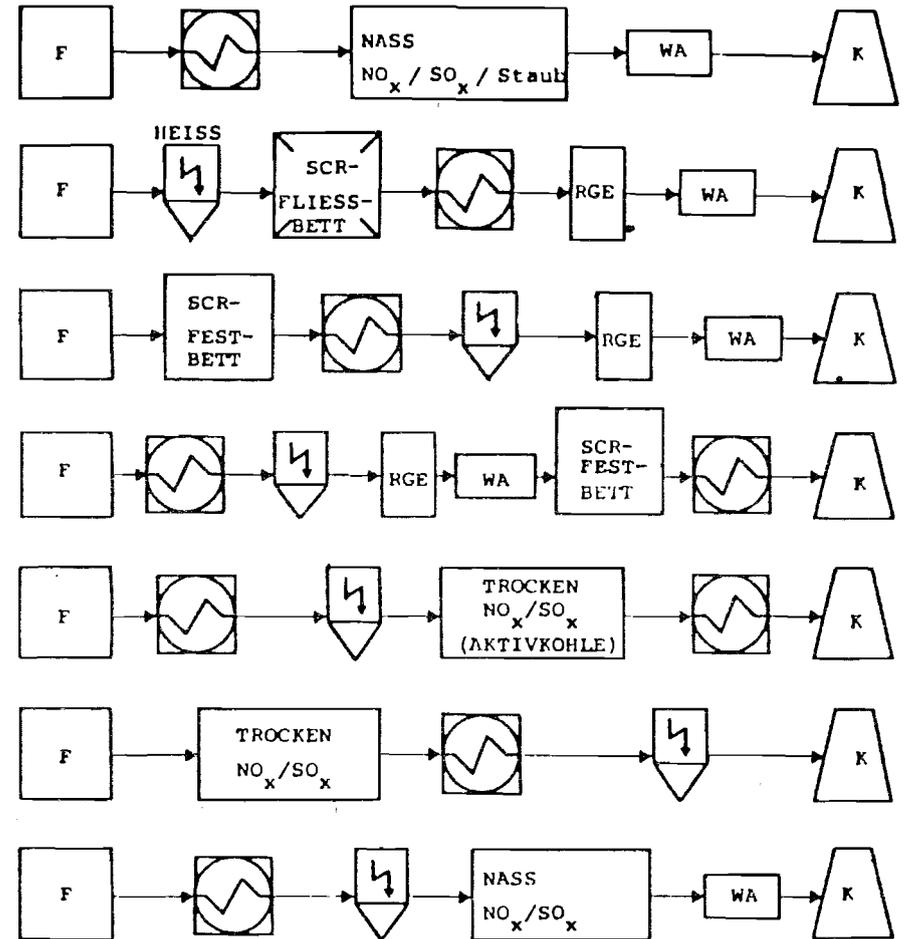


Abb. 14:

Schematische Darstellung der Möglichkeiten zur NO_x-, SO₂- und Staubabscheidung [14]

- F : Feuerungsanlage
- WA: Wiederaufheizung
- K : Kamin

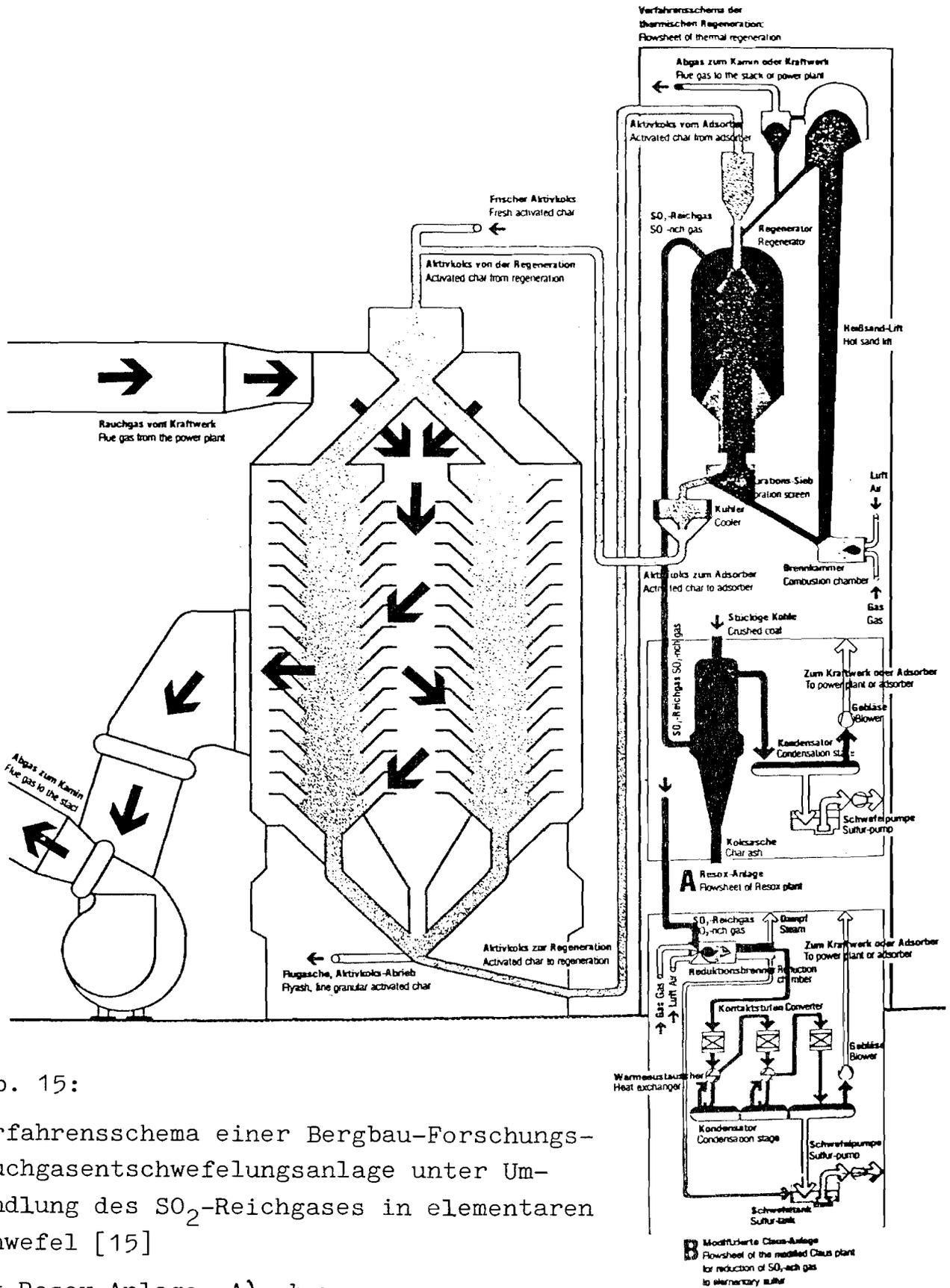


Abb. 15:

Verfahrensschema einer Bergbau-Forschungs-Rauchgasentschwefelungsanlage unter Umwandlung des SO₂-Reichgases in elementaren Schwefel [15]

mit Resox-Anlage A) bzw.
mit modifizierter Claus-Anlage B)

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 -
Kurztitel: Fernüberwachung mit LIDAR
1978. 47 Seiten mit 11 Abbildungen, 6 Tabellen und 4 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität.
Kurztitel: Randbedingungen bei der Beurteilung der Luftqualität.
1978. 44 Seiten mit 8 Abbildungen, 10 Tabellen und 20 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA.
Kurztitel: Luftüberwachung und Ausbreitung - Ein USA-Reisebericht -
1979. 47 Seiten mit 17 Abbildungen und 74 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau.
Kurztitel: Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten.
1979. 133 Seiten mit 53 Abbildungen, 13 Tabellen und 6 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen.
Kurztitel: Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen.
1979. 52 Seiten mit 13 Abbildungen, 2 Tabellen und 27 Literaturhinweisen.

- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege.
Kurztitel: Dämmwirkung von Dachentlüftern.
1979. 33 Seiten mit 13 Abbildungen, 2 Tabellen und 7 Literaturhinweisen.
- 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.
Kurztitel: Falschfarbenfotografie - Ein Mittel zur Erkennung von Pflanzenschäden.
1980. 43 Seiten mit 9 Abbildungen, 2 Tabellen und 11 Karten.
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:
Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern.
Kurztitel: Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schmiedehämmern.
1980. 59 Seiten mit 15 Abbildungen, 5 Tabellen und 7 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen.
Kurztitel: Konzept für Lärminderungspläne.
1980. 49 Seiten mit 11 Abbildungen und 18 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:
Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung
-Ziele, Methodik, Ergebnisse-
Kurztitel: Flächenbezogene Geräusch-Immissionen.
1980. 75 Seiten mit 18 Abbildungen, 7 Tabellen und 12 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 11: MANNS, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft.
Kurztitel: Schwebstaubmeßgerät FH62I für die automatische Immissionsmessung.
1980. 26 Seiten mit 10 Abbildungen und 2 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten.
Kurztitel: Verhalten atmosphärischer Sperrschichten.
1981. 39 Seiten mit 12 Abbildungen, 3 Tabellen und 4 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen.
1981. 44 Seiten mit 7 Abbildungen, 13 Tabellen und 14 Literaturhinweisen.

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen.
Kurztitel: Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum.
1981. 140 Seiten mit 37 Abbildungen, 22 Tabellen und 149 Literaturhinweisen.
(Abdruck der Dr. agr.-Dissertation vom 13. August 1979, Rheinische-Friedrich-Wilhelms-Universität, Landwirtschaftliche Fakultät, Bonn)
- 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 -
Kurztitel: Thallium-Emissionen bei der Herstellung von Portlandzement-Klinker.
1981. 67 Seiten mit 29 Abbildungen und 16 Tabellen.
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B.:
Umweltpolitik in der VR China und technologische Entwicklung.
(In Vorbereitung).
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen.
Kurztitel: Dioxin-Emissionen aus Müllverbrennungsanlagen.
1982. 25 Seiten mit 2 Abbildungen, 6 Tabellen und 8 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region.
Kurztitel: Entwicklung der Immissionsbelastung in der Rhein-Ruhr-Region seit 1965.
1982. 56 Seiten mit 7 Abbildungen, 14 Tabellen und 27 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen.
Kurztitel: Das Telemetrische Immissionsmeßsystem TEMES.
1982. 45 Seiten mit 12 Abbildungen, 4 Tabellen und 23 Literaturhinweisen.

- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:
Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit
luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben.
Kurztitel: Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der
Grundgesamtheit.
1982. 43 Seiten mit 17 Abbildungen, 5 Tabellen und 22 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel.
1982. 92 Seiten mit 40 Abbildungen und 15 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von
Erschütterungsimmissionen.
Kurztitel: Erschütterungsmeß- und Beurteilungsverfahren.
1982. 71 Seiten mit 9 Abbildungen, 6 Tabellen und 23 Literaturhinweisen.
- 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.
Kurztitel: Immissionswirkungen auf Pflanzen - ein USA-Reisebericht -.
1982. 74 Seiten mit 1 Abbildung und 32 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:
Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen
im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982.
Kurztitel: Hohe lokale Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet im Januar 1982.
1982. 80 Seiten mit 31 Abbildungen, 15 Tabellen und 4 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:
Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation.
Kurztitel: Fluorwasserstoff-Wirkungen auf Pflanzen.
1982. 27 Seiten mit 1 Abbildung, 4 Tabellen und 43 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten in
Bauleitplanverfahren.
Kurztitel: Empfehlungen bezüglich Immissionsschutzgutachten in Bauleitplan-
verfahren.
1982. 53 Seiten mit 10 Tabellen und 12 Literaturhinweisen.

- Berichte-Nr. 27: MANN, H., H. GIES und G. NITZ:
Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft.
Kurztitel: Anlage zur Qualitätssicherung von Immissionsmessungen (Aqim).
1982. 139 Seiten mit 21 Abbildungen, 8 Tabellen und 38 Literaturhinweisen.
- 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.
Kurztitel: Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland.
1982. 154 Seiten mit 34 Abbildungen, 14 Tabellen und 101 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:
Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung.
Kurztitel: Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung.
1983. 42 Seiten mit 8 Abbildungen, 2 Tabellen und 9 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 30: MANN, H. und H. GIES:
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES.
Kurztitel: Optimierung des Ozon-Meßplatzes in TEMES.
1983. 39 Seiten mit 10 Abbildungen, 11 Tabellen und 3 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:
Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luft.
Kurztitel: Verfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in der Luft.
1983. 38 Seiten mit 3 Abbildungen, 2 Tabellen und 38 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet.
1983. 57 Seiten mit 22 Abbildungen, 6 Tabellen und 24 Literaturhinweisen.
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:
Ermittlung von Verkehrsgeschall-Immissionen
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an Bundes- und Sammelstraßen.
Kurztitel: Ermittlung von Verkehrsgeschall-Immissionen.
1983. 75 Seiten mit 11 Abbildungen, 8 Tabellen und 28 Literaturhinweisen.

Anmerkung:

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