

Kosten-Effektivitäts-Analyse von Maßnahmen zur Reduzierung der
SO₂- und NO_x-Emissionen in Ballungsräumen am Beispiel der Stadt
Stuttgart

R. Baessler, B. Boysen, R. Friedrich, M. Mattis, A. Voß

Institut für Kernenergetik und Energiesysteme
Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 31

7000 Stuttgart-80

Kosten-Effektivitäts-Analyse von Maßnahmen zur Reduzierung der SO₂- und NO_x-Emissionen am Beispiel der Stadt Stuttgart

Zusammenfassung

Ziel des Projektes ist es, Kosten und Effektivität verschiedener Maßnahmen zur Reduzierung der SO₂- und NO_x-Emissionen in Ballungsräumen zu untersuchen. Als Untersuchungsgebiet wurde die Stadt Stuttgart ausgewählt.

Zunächst werden verschiedene Minderungsmaßnahmen ausgewählt und deren Eigenschaften ermittelt.

Außerdem werden die derzeitigen SO₂- und NO_x-Emissionen in Stuttgart stadtteilweise berechnet. Anschließend wird ein Szenario der möglichen zukünftigen Entwicklung der Emissionen bis 1995 erstellt, dabei werden die derzeit geplanten Umweltschutzmaßnahmen berücksichtigt.

Im nächsten Schritt wird die Anwendung verschiedener zusätzlicher Emissionsminderungsmaßnahmen simuliert. Die Kosten und Emissionsminderungen dieser Maßnahmen werden untersucht. Aus den Ergebnissen werden Empfehlungen für eine möglichst effiziente Umweltpolitik abgeleitet.

Cost-Effectiveness-Analysis of Strategies to Reduce SO₂- and NO_x-Emissions in Urban Areas

Abstract

Aim of this project is to evaluate costs and effectiveness of measures to reduce SO₂- and NO_x-emissions in urban areas. The investigation area chosen is 'Stuttgart'.

At first, various measures to reduce emissions are selected; the attributes of these measures are determined.

In addition, the actual SO₂- and NO_x-emissions in Stuttgart are calculated for the different municipal districts. Then, a scenario of the future development of the emissions is prepared, thereby the already planned measures for environmental protection are considered.

In the next step, the application of various additional measures is simulated. Costs and reduction of emissions are determined for every measure. From the results, recommendations for an efficient eco-policy are deduced.

1 Zielsetzung

Es existiert eine Fülle von Vorschlägen, wie Schadstoffemissionen gemindert werden sollen. Dies macht es schwierig für die Entscheidungsträger, die optimalen Maßnahmen zur Erreichung der vorgegebenen umweltpolitischen Ziele auszuwählen.

Da die einsetzbaren Mittel begrenzt sind, kommt es darauf an, die knappen Mittel so einzusetzen, daß der größtmögliche Effekt erreicht wird. Wegen der komplexen Zusammenhänge und der Vielzahl von Einflußparametern im Energiesystem (das Energiebedarf, -umwandlung und -versorgung beinhaltet) bedarf es zur Analyse dieser Frage quantitativer systemtechnischer Methoden.

Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung systemtechnischer Methoden zur Analyse und Bewertung von Emissionsminderungsstrategien für Ballungsgebiete sowie die exemplarische Anwendung dieser Methoden für die Stadt Stuttgart zur Identifizierung effektiver Maßnahmen zur Verminderung von SO_2 - und NO_x -Emissionen.

Dazu werden zunächst die derzeitigen und die zukünftig zu erwartenden Emissionen in Stuttgart stadtteilweise bestimmt sowie mögliche Maßnahmen und Techniken zur Emissionsminderung hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten, ihrer Kosten und ihrer Emissionsreduktion charakterisiert. Anschließend wird die Durchführung der verschiedenen Maßnahmen simuliert. Anhand der entstehenden Kosten und Emissionsminderungen werden diese Maßnahmen bewertet.

Als wesentliches Ergebnis des Vorhabens erhält man eine systematische Bewertung und eine Rangfolge von verschiedenen Maßnahmen zur Reduzierung der SO_2 - und NO_x -Emissionen im Zusammenhang mit der Energieversorgung und dem Verkehr in Stuttgart. Zudem wird dargestellt, mit welchen Maßnahmenkombinationen und welchen Mehrkosten sich verschiedene Emissionsniveaus oder Emissionsminderungsziele erreichen lassen.

Im folgenden werden zunächst Maßnahmen zur Emissionsreduzierung bei kleinen Feuerungen beschrieben. Daran anschließend werden die derzeitigen Emissionen in Stuttgart dargestellt. Außerdem werden die wichtigsten Strategien zur Emissionsminderung beschrieben.

2 Zusammenstellung von Maßnahmen zur Emissionsreduzierung im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher

Die Zusammenstellung und Bewertung der Emissionsminderungsmöglichkeiten im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher wurde über die Auswertung von Fragebögen, die an Firmen und Forschungseinrichtungen verschickt wurden, Veröffentlichungen in der Fachliteratur,

Vorträgen auf Seminaren, Tagungen usw. vorgenommen. Detaillierte und plausible Daten, die für die Auswertung wesentlich sind, liegen nur für eine begrenzte Anzahl von Maßnahmen vor.

Kosteneffektivität der Maßnahmen zur Emissionsreduzierung

Die Kosteneffektivität, ausgedrückt in DM/kg Schadstoff, setzt die jährlichen Mehrkosten (Brennstoffkosten, Wartungskosten, Annuitäten etc.) einer Anlage gegenüber einer Referenzanlage in Beziehung zu der jährlichen Schadstoffminderemission.

Bei Sekundärmaßnahmen der Schadstoffminderung, z. B. Rauchgaswasche, ist die Anlage ohne diese Maßnahme als Referenz zu wählen. Unter Berücksichtigung veränderter Parameter (z. B. Anlagenjahresnutzungsgrad) kann die Kosteneffektivität eindeutig berechnet werden.

Bei Primärmaßnahmen muß eine Referenzanlage ausgewählt werden: Beim Brennstoff Erdgas wird für Anlagenleistungen bis ca. 100 kW der Gaskessel mit atmosphärischem Brenner als Referenz ausgewählt, beim Brennstoff leichtes Heizöl der Ölkessel mit Gebläsebrenner (Gelbbrenner).

Maßnahmen zur NO_x-Emissionsreduzierung

Für NO_x-Minderungstechnologien kommen derzeit nur Primärmaßnahmen in Betracht, siehe hierzu Tabelle 1. Der Vergleich der Emissionsfaktoren bei Erdgas und leichtem Heizöl läßt erkennen, daß bei Erdgas in Zukunft niedrigere NO_x-Emissionen möglich sind.

Der in Tab. 1 erwähnte Thermomax-Brenner ist bislang nur in Verbindung mit dem Krupp-Brennwertkessel auf dem Markt. Um möglichst gesicherte Daten zu verwenden, wird hier diese Anlagenkombination berechnet. Prinzipiell kann der Thermomax-Brenner überall Verwendung finden, wo seither atmosphärische Gasbrenner eingesetzt wurden. Der Pulsationsbrenner ist aufgrund seiner besonderen Technik nur als Unit verwendbar.

Maßnahmen zur SO₂-Emissionsreduzierung

Die Höhe der SO₂-Emissionen hängt hauptsächlich vom Brennstoffschwefelgehalt ab. Primärmaßnahmen zur Reduzierung der SO₂-Emissionen sind nicht bekannt. Als Sekundärmaßnahmen stehen Rauchgaswascher zur Verfügung, die in Konkurrenz zur Brennstoffentschwefelung stehen. Die interessantesten Verfahren der Rauchgaswäsche sind mit den erreichbaren Entschwefelungsraten und den zugehörigen Kosteneffektivitäts-Werten in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 1: Emissionsfaktoren und Kosteneffektivitäts-Verhältnis bei Heizanlagen < 20 kW (e = Minderkosten, Maßnahme ist wirtschaftlich)

	Emissionsfaktor in kg NO _x /TJ _{Hu}	Mehrkosten gegenüber der Referenzanlage in DM/a	Minderemission gegenüber der Referenzanlage in kg NO _x /a	Kosteneffek- ektivität in DM/kg NO _x
Gaskessel mit atm. Brenner (Referenzanlage)	60	-	-	-
Gaskessel mit Gebläsebrenner	30	187,-	3,90	48,-
Krupp-Gasbrennwert- kessel mit Thermomax- Brenner	} 6 - 16	77,-	5,90-7,10	11,-/13,-
mit Kosten schwitzwasser- sicherer Schornstgin bei Abgastemp. 70°C		-93,-	6,00-7,10	e
ohne zusätzl. Kamin- kosten bei Abgas- temperatur 70°C		-121,-	5,90-7,10	e
bei Abgastemp.45°C		-291,-	6,00-7,10	e
Hydro-Pulse-Gasbrenn- wertgerät mit Pulsa- tionsbrenner mit Kosten schwitzwasser- sicherer Kamin	} 20	395,-	5,49	72,-
bei Abgastemp. 70°C				
bei Abgastemp. 45°C		245,-	5,64	43,-
ohne zusätzl. Kamin- kosten bei Abgastemp. 70°C		89,-	5,49	16,-
bei Abgastemp. 45°C		- 61,-	5,64	e
Ölkessel mit Gelbbrenner (Referenzanlage)	50	-	-	-
Ölkessel mit Blaubrenner mit Rauchgasrückführung	23-33	- 60,10	2,4-3,6	e

Tab. 2: Entschwefelungsraten und Kosteneffektivitäten der ver-
schiedenen Maßnahmen zur SO₂-Emissionsreduzierung

Maßnahmen	Entschwefe- lungsrate in %	Kosteneffektivität bei 20 kW-Anlagen in DM/kg SO ₂
Rauchgaswäscher der DFVLR	70	0,00 - 47,40
Kroll-Abgasturbo-Wäscher	90	66,90 - 92,30
Herbst-Peto-Verfahren	90	46,70 - 108,20

Die Bandbreite der Kosteneffektivität ergibt sich aus optimistischen und pessimistischen Annahmen über Investitions- und Wartungskosten und aus der Berechnung mit und ohne Kosten eines schwitzwassersicheren Kamins. Alle Technologien, die für verschiedene Anlagenleistungen angeboten werden, zeigen eine umso günstigere Kosteneffektivität, je größer die Anlagenleistung ist. Die hier betrachteten Verfahren können erst bei Leistungen über 200 kW mit den Kosten der Brennstoffentschwefelung konkurrieren.

3 Derzeitige Emissionen in Stuttgart

Voraussetzung für die Bewertung von Emissionsminderungsmaßnahmen ist die Kenntnis der derzeitigen Emissionen. Diese werden stadtteilweise ermittelt.

3.1 Feuerungsanlagen

Über genehmigungspflichtige Feuerungen liegen anonymisierte Angaben der Landesanstalt für Umweltschutz vor. Für die Kraftwerke der Technischen Werke der Stadt Stuttgart AG (TWS) liegen zudem Daten über Brennstoffeinsätze und Emissionen aus /1/ und /2/ vor. Für die Berechnung der Emissionen aus nicht genehmigungspflichtigen Anlagen wurden Daten aus dem "Wärmeatlas" der TWS herangezogen /3/.

Ausgehend von diesen Daten wurden die derzeitigen Emissionen der Feuerungsanlagen berechnet. Anschließend wird ein Referenzszenario der möglichen zukünftigen Entwicklung unter Einbeziehung der geplanten Minderungsmaßnahmen erstellt. Im folgenden werden einige vorläufige Ergebnisse dargestellt.

a) Kraftwerke

Die SO_2 -Emissionen aus Kraftwerken betragen 1985 6,5 kt SO_2 , bis 1995 werden die Emissionen um 83 % auf 1,1 kt abnehmen. Ursache für die Abnahme ist der Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen für die Kessel 12, 14 und 15 im Kraftwerk Münster der TWS. Die NO_x -Emissionen aus Kraftwerken betragen 1985 ca. 3,7 kt NO_x und werden auf Grund der Emissionsminderungsmaßnahmen (Einbau von SCR-Anlagen in die Kessel 12 und 15 im KW Münster der TWS, Durchführung von Primärmaßnahmen) bis 1995 um 70 % auf 1,4 kt zurückgehen. Mit der Durchführung der NO_x -Minderungsmaßnahmen wurde bereits begonnen.

b) Industrie

Von der Industrie wurden 1985 ca. 3,2 PJ Brennstoff in 57 genehmigungspflichtigen Energieanlagen verbraucht. Davon waren ca. 1 PJ schweres Heizöl (ca. 31 %), 0,92 PJ leichtes Heizöl (ca. 28 %),

0,85 PJ Steinkohle (23 %) und 0,6 PJ Gas (19 %). Die TA-Luft wird ab 1991 eine Substitution von schwerem Heizöl durch Gas und leichtes Heizöl bewirken, weil dann schweres Heizöl in Anlagen <5 MW_{th} nicht mehr eingesetzt werden darf. Die SO₂-Emissionen betragen 1985 ca. 1,2 kt und gehen bis 1995 im wesentlichen bedingt durch die Substitution von schwerem Heizöl und durch Anlagenstillegung auf 1,08 kt SO₂/a um 10 % zurück. Die NO_x-Emissionen gehen von 0,52 kt/a auf 0,35 kt/a um 33 % zurück. Dieser Rückgang wird im wesentlichen durch den Einbau NO_x-armer Brenner erreicht. Insgesamt kosten die Maßnahmen, die die TA Luft vorschreibt, ca. 1,4 Mio DM/a.

c) Raumwärme

In Stuttgart wurden 1985 ca. 4751 GWh (17,1 PJ) Raumwärme benötigt. Die Raumwärme wird zu 3 % mit Strom, 30 % mit Gas, 22 % mit Fernwärme, 28 % mit Ölzentralheizungen und 16 % mit Öl- oder Kohleeinzelöfen erzeugt. Für letztere wird angenommen, daß bei Einzelöfen 80 % leichtes Heizöl und 20 % Steinkohle eingesetzt werden. 37 % des verbrauchten Gases wird in Zentralheizungen, 30 % in Etagenheizungen und der Rest in Gaseinzelheizungen eingesetzt. Abb. 1 zeigt stadtteilweise die Deckung des Raumwärmebedarfs nach Brennstoffen. Auffällig ist beispielsweise der hohe Fernwärmeanteil in der Innenstadt.

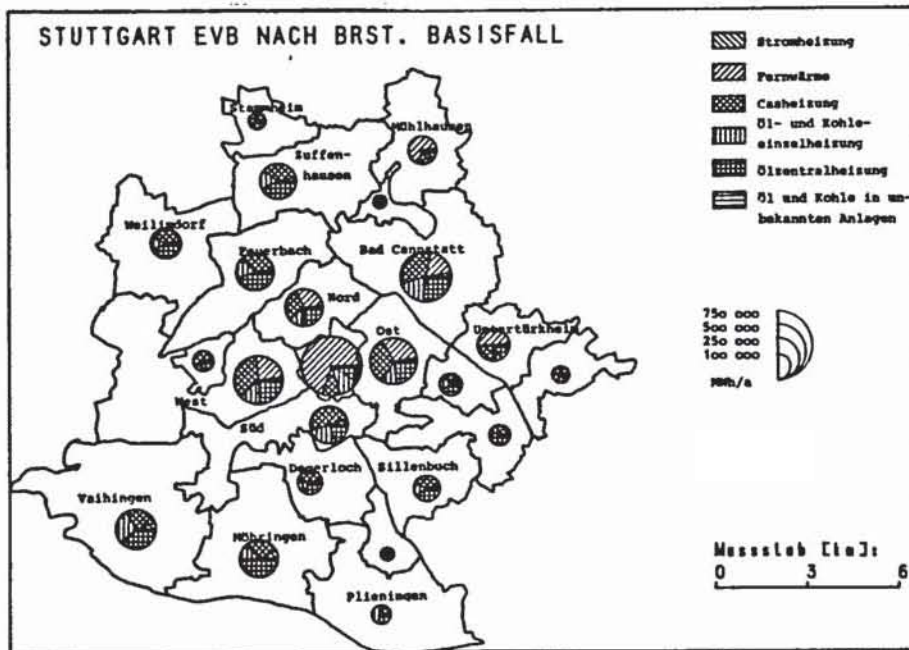


Abb. 1: Deckung des Raumwärmebedarfs der Stadtteile in Stuttgart

Abb. 2 zeigt die aus dem Brennstoffverbrauch resultierenden SO₂-Emissionen in Stuttgart. Insgesamt wurden 1985 1 500 t SO₂ aus Anlagen zur Raumwärmeerzeugung emittiert, davon aus Ölzentralheizungen 870 t.

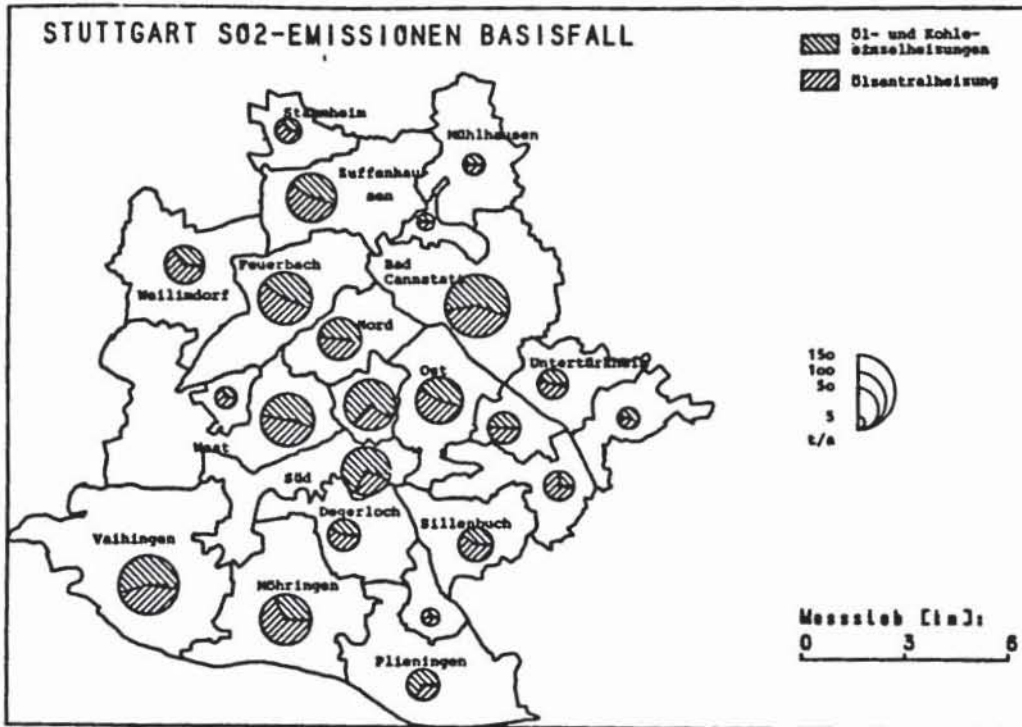


Abb. 2: SO₂-Emissionen aus Raumwärmebereitstellung

Die NO_x-Emissionen aus Feuerungen zur Raumheizung betragen insgesamt 820 t/a.

Davon stammen

- aus Ölzentralheizungen	340 t
- aus Gaszentral- und -etagenheizungen	210 t
- aus den restlichen Gasheizungen	90 t
- aus den Einzelheizungen für Öl und Kohle	180 t.

3.2 Verkehr

Die Emissionen des Verkehrs wurden anhand von Verkehrsmengendaten aus einer Untersuchung des Nachbarschaftsverbandes Stuttgart /4/ ermittelt.

Dazu wurde ein Modell erstellt, das innerhalb der Stadtgrenze von Stuttgart ca. 550 km Hauptverkehrsstraßen erfaßt.

Für diese Straßen sind unter anderem die Zahl der Kfz auf jedem Streckenabschnitt sowie die Fahrtzeiten vorhanden.

Aus der Zahl der Kfz pro Streckenabschnitt und der Länge dieses Abschnittes lassen sich die Emissionen berechnen. Der Verkehr auf den Nebenstraßen wird über Parameter wie zugelassene PkW pro Stadtteil und Fläche des Stadtteils berücksichtigt.

Die Gesamt-Emissionen im Stadtgebiet liegen nach vorläufigen Rechnungen bei ca. 9100 t NO_x und ca. 730 t SO₂ pro Jahr.

Abb. 3 zeigt die NO_x-Emissionen des Verkehrs unterteilt nach PKW- und LKW-Verkehr (ohne Berücksichtigung der Autobahnen). Der am meisten belastete Stadtbezirk ist Möhringen, dort verläuft die B27 mit einer hohen durchschnittlichen tägliche Verkehrsmenge von über 40 000 Kfz/d. Die geringsten Belastungen an NO_x und SO₂ entstehen in den Stadtbezirken Birkach, Botnang, Obertürkheim sowie Münster.

Der LKW-Anteil an den NO_x-Emissionen liegt bei ca. 52 %, bei den SO₂-Emissionen beträgt er ca. 75 %, obwohl nur etwa 15 % der am Verkehr teilnehmenden Kfz LKW sind. Diese haben jedoch im betrachteten Geschwindigkeitsbereich einen fast 10-mal so hohen NO_x-Emissionsfaktor wie PKW. Während für die PKW-Emissionen in Zukunft mit Minderungen zu rechnen ist, liegt vor allem bei den LKW noch ein großes, ungenutztes NO_x-Emissions-Minderungs-Potential.

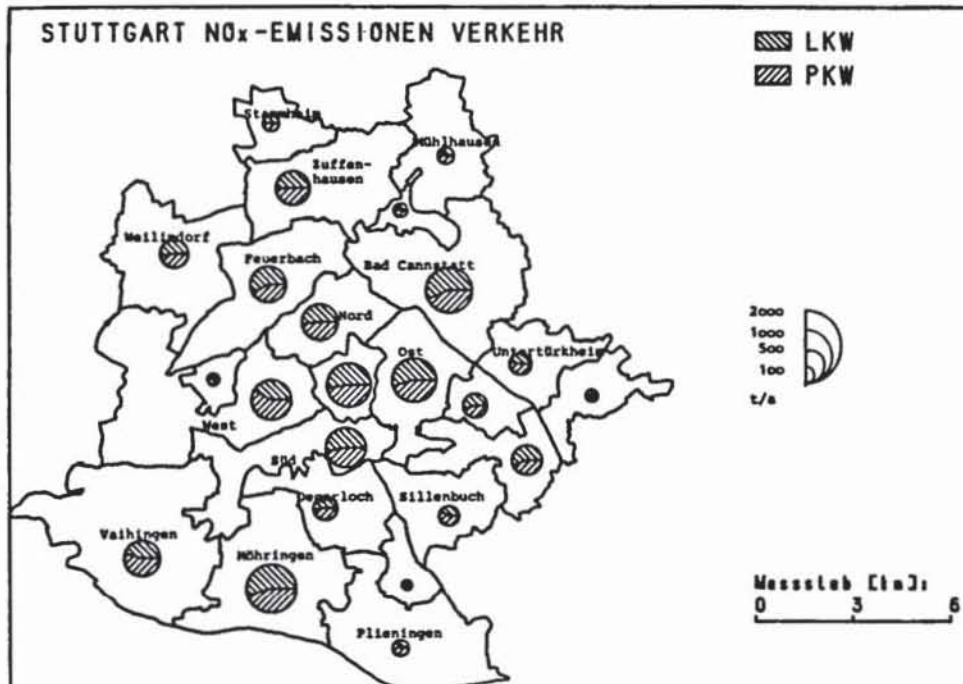


Abb. 3: NO_x-Emissionen des PKW- und LKW-Verkehrs in Stuttgart

4 Strategien zur Emissionsminderung

In diesem Arbeitsschritt sollen Strategien zur Minderung von Luftschadstoffemissionen entwickelt und deren Effektivität, d. h. die Höhe der erreichten Minderung sowie die dafür aufzuwendenden Kosten berechnet werden.

4.1 Feuerungsanlagen

a) Kraftwerke

Für Kraftwerke in Stuttgart gibt es bereits weitreichende Planungen zur Emissionsminderung, die im Referenzszenario bereits berücksichtigt sind (s. Kap. 3.1).

b) Industrie

Sollen über den "Referenzfall" hinaus, der bereits die auf Grund der GfAVO und der TA-Luft notwendigen Maßnahmen berücksichtigt, weitere Emissionsminderungen erreicht werden, so bieten sich folgende Maßnahmen an:

zur Minderung von SO_2 :

- Brennstoffsubstitution
- Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen (z. B. Kalkwasch- oder Trockenadditivverfahren)

Erste Berechnungen zeigen, daß der Einbau einer Rauchgasentschwefelungsanlage bei einer der drei kohlebefeueten Anlagen in Stuttgart möglich und effizient ist. Bei Kosten von ca. 4 DM/kg SO_2 könnte eine Minderung von 330 t SO_2 /a erreicht werden. Bei den übrigen kohle- und schwerölbefeueten Anlagen ist dagegen die Umstellung auf andere, schwefelärmere Brennstoffe kostengünstiger und effizienter als der Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen.

zur Minderung von NO_x :

- Primärmaßnahmen (z. B. Einbau NO_x -armer Brenner).
- De NO_x -Anlagen (z. B. SCR).

Durch feuerungstechnische Maßnahmen sind u. Ü. - insbesondere bei Einsatz von schweren Heizöl - auch Emissionen erreichbar, die unterhalb der Grenzwerte der TA Luft liegen. De NO_x -Anlagen sind dagegen im Vergleich zu anderen NO_x -Minderungsmaßnahmen sehr teuer, ihre Durchführung hat daher keine hohe Priorität.

c) Raumwärme

Mögliche technische Maßnahmen zur Verringerung der SO_2 - und NO_x -Emissionen wurden bereits in Kap. 2 dargestellt. Zusätzlich sind jedoch auch die Brennstoffentschwefelung, die Substitution auf andere Energieträger (Gas, Strom, Fernwärme) und Maßnahmen zur Energieeinsparung (Wärmedämmung, neue Kessel usw.) zu untersuchen.

Aus den bisher vorliegenden Erkenntnissen läßt sich bezüglich SO_2 folgendes ableiten:

- a) Eine wichtige Maßnahme ist die Umrüstung von Kohleheizungen auf andere Brennstoffe. Dies senkt nicht nur die SO_2 -Emissionen, sondern auch die CO-, Staub- und Kohlenwasserstoffemissionen erheblich.
- b) Ebenfalls sehr empfehlenswert ist die weitergehende Entschwefelung von leichtem Heizöl. Der Schwefelhöchstgehalt sollte von derzeit 0,3 % auf 0,15 % abgesenkt werden. Dies würde die SO_2 -Emissionen aus Ölheizungen um 510 t/a mindern. Es entstünden Kosten von ca. 1,3-1,6 Pfg pro Liter Heizöl bzw. ca. 6-7 DM/kg SO_2 .
- c) Als weitere wichtige Maßnahme ergibt sich die Substitution von Heizöl durch Erdgas oder Fernwärme.
- d) Der Einbau von Rauchgaswäschern (siehe Kap. 2) ist dagegen erst bei größeren Anlagen ab ca. 200 - 500 kW effizienter als die Entschwefelung von leichtem Heizöl. Auch bei größeren Anlagen entstehen allerdings Mehrkosten für den Betreiber in Höhe von ca. 2-4 Pfg/l Heizöl, sodaß ohne zusätzliche Anreize die Durchführung solcher Maßnahmen nicht erfolgt.

Bei NO_x sind zum einen Primärmaßnahmen (feuerungstechnische Maßnahmen) möglich, außerdem können Katalysatoren eingebaut werden.

Letztere haben jedoch - im Vergleich zu anderen NO_x -mindernde Maßnahmen - bei kleinen Feuerungen ein so schlechtes Kosten-Effektivitäts-Verhältnis, daß ihre Durchführung nicht empfohlen werden kann.

Anders sieht dies bei Primärmaßnahmen aus. Wie in Kap. 2 gezeigt wird, sind bereits vereinzelt Brenner auf dem Markt erhältlich, die ohne nennenswerte Mehrkosten zu erheblichen Minderungen der NO_x -Emissionen beitragen.

Es ist also der Nachweis erbracht, daß eine erhebliche Verringerung der NO_x -Emissionen bei kleinen Feuerungen - insbesondere bei Gasfeuerungen - möglich und effizient ist. Zur Einführung dieser Techniken sind aber entweder die Einführung von NO_x -Grenzwerten oder aber Vereinbarungen mit den Brennerherstellern erforderlich, da sonst ein Anreiz für die Durchführung der Maßnahmen fehlt.

4.2 Verkehr

Bei den Personenkraftwagen sollen folgende Maßnahmen untersucht werden:

- geregelter 3-Weg-Katalysator.
Hier soll auch berücksichtigt werden, daß der Katalysator erst beim Erreichen seiner Betriebstemperatur voll wirksam wird, d. h., daß er bei Beginn der Fahrten und bei Kurzsteckenfahrten nicht voll wirksam ist.
- ungeregelter Katalysator.
Diese Maßnahme kommt vor allem für die Nachrüstung alterer Fahrzeuge in Betracht, ebenso wie
- Abgasrückführung.
Sie ist jedoch nicht so effektiv wie die Katalysatoren, ihr Vorteil liegt im verhältnismäßig günstigen Preis.

Neben diesen genannten Maßnahmen wird auf weitere technische Möglichkeiten wie das Magerkonzept, den Thermoreaktor sowie Verbesserungen am Gemischbildner und Zündsystemen eingegangen. Des Weiteren werden Geschwindigkeitsbeschränkungen und die Förderung des öffentlichen Nahverkehrs diskutiert.

Da etwa die Hälfte der NO_x -Emissionen des Verkehrs durch LKW verursacht wird, und die LKW allein damit mehr emittieren als z. B. die Kraftwerke, ist die Entwicklung und Durchsetzung von NO_x -mindernden Maßnahmen auch bei LKW wichtig. Reduzierungen der NO_x -Emissionen können bei Dieselmotoren z. B. durch Ladeluftkühlung oder Abgasrückführung verwirklicht werden.

Die SO_2 -Emissionen sowohl der Diesel-PKW wie auch der Diesel-LKW können durch eine Senkung des Schwefelgehalts im Dieselkraftstoff gemindert werden.

Literaturverzeichnis

- /1/ Staatsministerium Baden-Württemberg (Hrsg): Bericht der Arbeitsgruppe "Energiebedarf-Umwelt-Kraftwerksbetrieb", Stuttgart, 1983
- /2/ Staatsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Bericht der Arbeitsgruppe "Minderung von Stickoxidemissionen aus Kohlekraftwerken in Baden-Württemberg", Stuttgart 1984
- /3/ Der Wärmeatlas Stuttgart, Technische Werke der Stadt Stuttgart AG, Stuttgart 1983
- /4/ Verkehrsuntersuchung im Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Stuttgart und der Landkreise Böblingen, Esslingen und Ludwigsburg
Band 1: Grundlagen
Herausgeber: Nachbarschaftsverband Stuttgart, März 1985