

Kosten-Effektivitäts-Analyse von Maßnahmen zur Reduzierung von SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg für alle Emittentengruppen unter besonderer Berücksichtigung regionaler Aspekte

B.Boysen, R.Friedrich, M.Mattis, A.Voß
Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung
(IER)
Universität Stuttgart

Zusammenfassung

Verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung der SO₂- und NO_x-Emissionen bei allen Emittentengruppen werden bezüglich ihrer Kosten und Effektivität untersucht. Um regionale Unterschiede zu verdeutlichen, werden die Berechnungen im gewählten Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg kreisweise durchgeführt.

An die Ermittlung der Ist-Situation der SO₂- und NO_x-Emissionen im Jahr 1985 schließt sich die Erstellung eines Szenarios an, das eine mögliche zukünftige Entwicklung der Emissionen unter Berücksichtigung der gegenwärtig bestehenden Umweltauflagen bis zum Jahr 2000 beschreibt.

Anschließend werden Kosten und Auswirkungen von verfügbaren Maßnahmen zur Emissionsminderung ermittelt. Aus der kreisweisen Berechnung dieser Maßnahmen können unter besonderer Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten Empfehlungen für eine möglichst effiziente Politik zur Minderung der SO₂- und NO_x-Emissionen abgeleitet werden.

Cost-Effectiveness-Analysis of Strategies to reduce the SO₂- and NO_x-Emissions in Baden-Württemberg considering Regional Aspects

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

Summary

Costs and effectiveness of several measures for reducing SO₂- and NO_x-emissions are evaluated. Regional aspects can be taken into account due to the calculations on county-level.

At first the emissions are calculated for each of Baden-Württemberg's 44 counties in the year 1985. The next step is the estimation of the emissions for the year 2000 on the base of the fuel use expected. This projection considers all measures which are necessary to meet the existing and future laws.

In addition to this the costs and the effects of further abatement measures are given. From these calculations result the costs which are necessary to reach a certain level of emissions and the measures which have to be taken to reach this level. From the results strategies and recommendations for a cost-effective air-pollution-control policy can be developed.

1 Problemstellung

Die in den letzten Jahren beobachteten Waldschäden werden ebenso wie Schäden an Gebäuden und Gewässern sowie Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit auch auf die Luftverunreinigung durch gasförmige Schadstoffe zurückgeführt. Obwohl noch nicht eindeutig geklärt ist, welchen Anteil die Luftschadstoffe an diesen Schädigungen haben, wird angenommen, daß eine erhebliche Verminderung der Luftschadstoffemissionen notwendig ist.

Die aus diesem Grund erlassenen Verordnungen und Vorschriften (z.B. die Großfeuerungsanlagenverordnung GFAVO, die Novellierung der TA Luft, die weitergehende Entschwefelung des leichten Heizöls und die Festsetzung der EG-Grenzwerte für Pkw) haben Maßnahmen zur Minderung der SO₂- und NO_x-Emissionen veranlaßt und - vor allem beim SO₂ - zu einer deutlichen Verminderung der Schadstoffemissionen geführt. Die dadurch erreichten Emissionsminderungen werden jedoch häufig als nicht ausreichend erachtet. In diesem Beitrag soll daher der Frage nachgegangen werden, mit welchen Maßnahmen weitere Emissionsminderungen erreicht werden können. Als wesentliches Ziel einer rationalen Umweltpolitik wird dabei definiert, gewünschte Emissionsminderungen mit einer optimalen Luftreinhaltestrategie, also mit den geringst möglichen Kosten zu erreichen.

Als Untersuchungsgebiet wurde der Flächenstaat Baden-Württemberg, aufgeteilt in seine 44 Kreise, gewählt.

2 Vorgehensweise

Nach der kreisweisen Ermittlung und Analyse der Emissionen aller Emittentengruppen im Jahr 1985 werden diese Angaben als Basis für die Projektion des Brennstoffverbrauches und der daraus resultierenden SO₂- und NO_x-Emissionen im Jahr 2000 verwendet.

Grundlage für die Kraftwerke und Industrie sind die Studien /1,2,3/, die erweitert und durch Angaben aus dem Energiegutachten Baden-Württemberg /4/ ergänzt und aktualisiert wurden. In einer neu erstellten Datenbank werden einzelne genehmigungsbedürftige Anlagen aus dem Bereich der Kleinverbraucher erfaßt. Überdies wird eine Zuordnung der Anlagen zu den einzelnen Kreisen vorgenommen. Weitere Grundlagen bilden statistischen Daten sowie Daten über den spezifischen Energieverbrauch /5,6/.

Die Trennung der Sektoren erfolgt nicht, wie sonst üblich, in die Sektoren Industrie sowie Kleinverbraucher und Haushalte, sondern in genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen¹, da Umweltschutzverordnungen und -gesetze als entscheidende Größe die Feuerungsleistung der einzelnen Anlagen heranziehen.

Die Emissionen aus dem Verkehrssektor werden über Modelle berechnet, die für den ausserörtlichen Verkehr Angaben aus der Straßendatenbank Baden-Württemberg /7/ benutzen und für den innerörtlichen Verkehr auf Auswertungen von Daten beruhen, die im Rahmen von /8/ erhoben und für ganz Baden-Württemberg bearbeitet werden.

¹Genehmigungsbedürftige Anlagen sind Anlagen, die mit Erdgas gefeuert sind und eine Leistung von mehr als 10 MW_{th} haben, oder Anlagen, die mit leichtem Heizöl gefeuert werden und mehr als 5 MW_{th} Leistung aufweisen sowie alle anderen Feuerungsanlagen mit einer Leistung von mehr als 1 MW_{th}.

Für jede Emittentengruppe wird ein Referenzszenario erstellt, dessen wirtschaftliche Entwicklung der "mittleren Variante" aus /4/ entspricht. Gesetzliche Verordnungen bzw. Grenzwerte, die heute bereits in Kraft oder geplant sind, werden berücksichtigt. Die Ergebnisse der Referenzfall-Projektion bilden die Grundlage für die Untersuchung der Auswirkungen und der Kosten von zusätzlichen Emissionsminderungsmaßnahmen, die sowohl rein technischer als auch organisatorischer und logistischer Art sind. Durch die Kenntnis der spezifischen Differenzkosten pro Schadstoffeinheit /9/ ist es möglich, eine Rangfolge der Maßnahmen zu erstellen. Dies wiederum ergibt die Möglichkeit, jene Maßnahmen zu identifizieren, die notwendig sind, ein vorgegebenes Emissionsniveau zu erreichen - und zwar mit minimalen volkswirtschaftlichen Kosten. Andererseits ergibt sich die Möglichkeit, zu beurteilen, wie weit die Emissionen mit einem bestimmten finanziellen Aufwand maximal gemindert werden können.

Die kreisweise Berechnung macht die Betrachtung von örtlich unterschiedlichen Maßnahmenkombinationen zur Emissionsminderung und damit die Ermittlung spezifischer Emissionsminderungsstrategien für die einzelnen Kreise möglich.

3 Referenzentwicklung der Emissionen bis zum Jahr 2000

Bei den SO₂-Emissionen ergibt sich im Referenzfall eine deutliche Minderung von über 55%, im Jahr 1985 werden 210 kt SO₂ emittiert, im Jahr 2000 sind es nur noch 90 kt. Dieser starke Rückgang der SO₂-Emissionen ist vor allem auf Rauchgasreinigungsmaßnahmen bei der Kohleverbrennung und den Rückgang des Schwerölverbrauchs verbunden mit dem vorgeschriebenen Einsatz niedrig schwefelhaltiger Ware zurückzuführen. Die Emissionen aus dem Einsatz von leichtem Heizöl und Diesel werden aufgrund der Absenkung des Schwefelgehaltes und dem Rückgang des Verbrauchs im betrachteten Zeitraum fast halbiert.

Die Anteile der Verbrauchergruppen an den SO₂-Emissionen verändern sich deutlich. Der Anteil der Kraftwerke verringert sich von 39% im Jahr 1985 auf 12% im Jahr 2000. Trotz einer Reihe von Minderungsmaßnahmen im Bereich der sonstigen genehmigungsbedürftigen Anlagen steigt deren Anteil von 41% auf 58%. Der Anteil der nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen bleibt ungefähr gleich, absolut gesehen gehen die SO₂-Emissionen um über die Hälfte zurück. Lediglich der Anteil des Verkehrs steigt, und zwar von 5% 1985 auf 10% im Jahr 2000.

Die NO_x-Emissionen liegen mit den Annahmen des Referenzfalles im Jahr 2000 mit 259 kt um 80 kt oder 24% niedriger als im Jahr 1985. Die NO_x-Minderungsmaßnahmen in Kraftwerken führen zu einer erheblichen Verschiebung der Anteile dieser Emittentengruppe an den gesamten NO_x-Emissionen. Im Jahr 1985 betrug dieser Anteil 16%, im Jahr 2000 sind es nur noch knapp 4%. Der Anteil aller anderen Feuerungsanlagen bleibt mit 18% bzw. 17% praktisch gleich, der Verkehrsanteil steigt dagegen von 66% auf 79%.

4 Auswirkungen und Kosten zusätzlicher Minderungsmaßnahmen

Bei der Auswahl von zusätzlichen Maßnahmen zur Schadstoffminderung müssen die entstehenden Kosten berücksichtigt werden. Bewertungskriterium für die Effizienz der Minderungsmaßnahmen sind die in /9/ erläuterten spezifischen Differenzkosten pro Schadstoffeinheit, hier bezogen auf kg NO_x bzw. kg SO₂. Errechnet man diese Werte für alle Maßnahmen bei allen Emittentengruppen, ordnet sie der Größe nach und trägt sie kumuliert auf, so ergibt sich eine Kostenkurve, aus der entnommen werden kann

- wie hoch die minimalen Kosten bei einer gewünschten Minderung liegen,
- wie hoch die maximale Minderung ist, wenn bestimmte Geldmittel zur Verfügung stehen.

Die den Kostenkurven zugrunde liegenden Informationen ermöglichen es, effiziente Strategien zu ermitteln. Da die Kostenkurven auch für einzelne ausgewählte Kreise ermittelt werden können, werden regionale Unterschiede sichtbar.

In Abb. 1 ist die Kostenkurve der im Referenzfall durchgeführten Maßnahmen (links von der gestrichelten Linie) und der zusätzlichen SO₂-Minderungsmaßnahmen dargestellt. Es werden nur Minderungsmaßnahmen mit Grenzkosten bis zu 50 DM/kg SO₂ berücksichtigt. Die Steigung der Kurve in Abb. 1 stellt die jeweiligen Grenzkosten dar. Der Sprung in der Steigung der Kurve beim Punkt 'Referenzfall' zeigt, daß es Schadstoffminderungsmaßnahmen gibt, die im Referenzfall nicht durchgeführt werden, obwohl sie effizienter sind, d.h., obwohl sie niedrigere spezifische Differenzkosten aufweisen, als einige der Maßnahmen, die im Referenzfall durchgeführt werden.

Im folgenden werden die Maßnahmen und Wirkungen bei einigen Grenzkosten beschrieben.

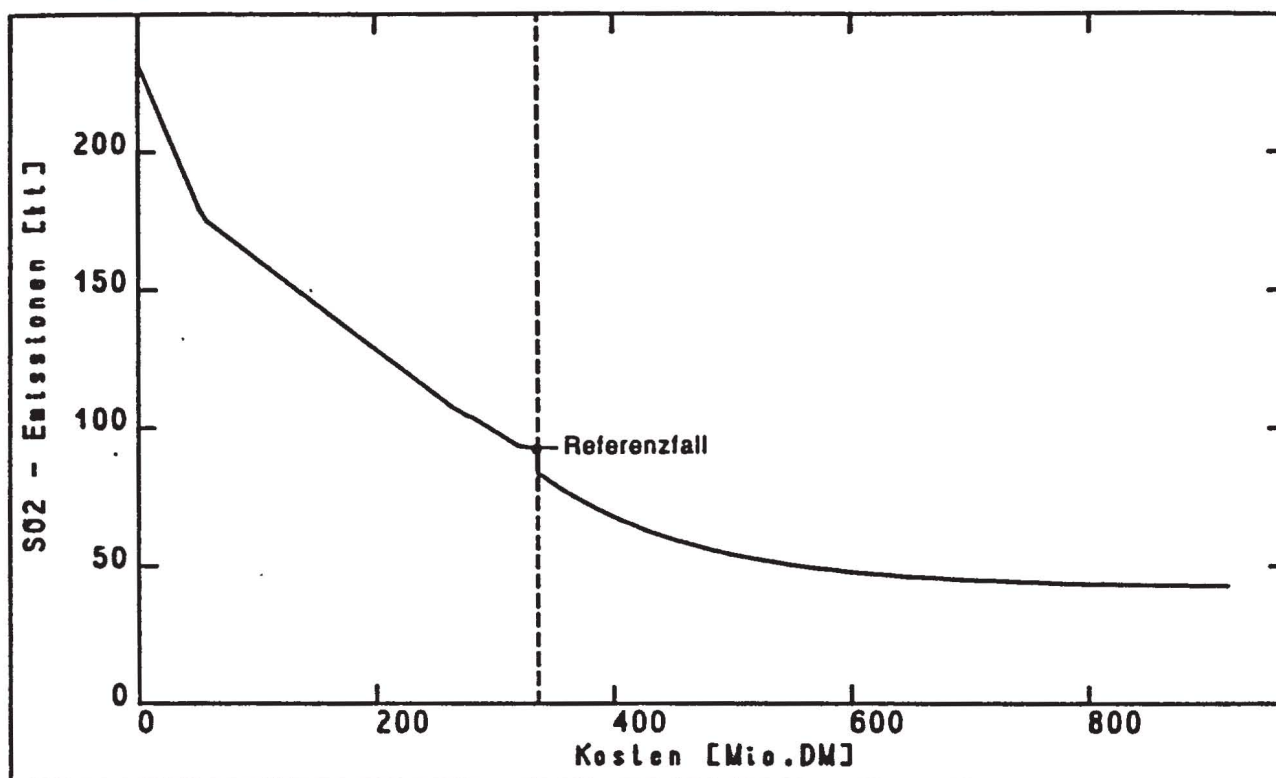


Abb. 1: Kosten und SO₂-Minderungen von Minderungsmaßnahmen im Jahr 2000

Maßnahmen ohne zusätzliche Kosten

Über den Referenzfall hinaus können ohne nennenswerte zusätzliche Kosten insgesamt 2,8 kt SO₂ gemindert werden.

Etwa 2,5 kt können bei den nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen durch die Substitution von Kohle durch leichtes Heizöl sowie durch die Substitution von Kohle in ca. 10000 Zentralheizungen durch Gas erreicht werden. Eine geringe Emissionsminderung ohne zusätzliche Kosten ist auf den Einsatz von Erdgas statt leichtem Heizöl in ca. 150 hochausgelasteten genehmigungsbedürftigen Feuerungen zurückzuführen.

Maßnahmen mit Grenzkosten bis 5 DM/kg SO₂

Bei den genehmigungsbedürftigen Anlagen werden über 650 Anlagen von leichtem Heizöl auf Erdgas umgestellt, weitere Anlagen werden von Steinkohle auf Erdgas umgerüstet.

Bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen werden zusätzlich 1100 Anlagen mit einer Ölzentralheizung auf Fernwärme umgestellt, so daß sich die Emissionsminderung um weitere 0,2 kt erhöht.

Die Minderung der SO₂-Emissionen beläuft sich auf insgesamt 18,7 kt, die entstehenden Kosten betragen 36 Mio DM/a.

Maßnahmen mit Grenzkosten bis 10 DM/kg SO₂

Durch die Substitution von Steinkohle, schwerem und leichtem Heizöl durch Erdgas in genehmigungsbedürftigen Anlagen (nicht in der Mineralölindustrie) lassen sich bei diesen Grenzkosten über 21 kt der SO₂-Emissionen des Referenzfalles bei zusätzlichen Kosten von 70 Mio DM/a mindern. Der Einsatz von Rauchgasentschwefelungsanlagen vermindert die Emissionen um 1,5 kt. Unter diesen Grenzkosten liegt auch die Minderung der SO₂-Emissionen in der Mineralölindustrie durch den Einsatz von Erdgas. Die Minderung beläuft sich auf ca. 8 kt.

Grenzkosten von 10 DM/kg SO₂ ermöglichen insgesamt eine Minderung von 39,6 kt bei Kosten von 109 Mio DM/a.

Der Einsatz weiterer Maßnahmen, deren Grenzkosten bis zu 50 DM/kg SO₂ liegen, bringt eine Gesamtreduktion von 42,3 kt, die finanziellen Mehraufwendungen steigen jedoch auf 450 Mio DM/a an.

Die ermittelten Ergebnisse zeigen insbesondere die überragende Bedeutung des Erdgases für die Minderung der SO₂-Emissionen bei den mittleren und kleinen Feuerungsanlagen. Rauchgasentschwefelungsanlagen kommen außer bei den öffentlichen Kraftwerken, bei denen sie bereits im Referenzfall eingesetzt werden, bei einigen wenigen genehmigungsbedürftigen Anlagen mit hoher Auslastung für optimale Emissionsminderungsstrategien in Betracht. Bei den sonstigen Feuerungsanlagen ist dagegen - derzeitige bzw. moderat steigende Erdgaspreise vorausgesetzt - die Substitution des verwendeten Brennstoffes durch Erdgas die effizienteste Maßnahme.

Die Kostenkurve für den Referenzfall und die darüber hinaus gehenden Maßnahmen zur Minderung der NO_x-Emissionen ist in Abb. 2 dargestellt. Wie im Falle des SO₂ gibt es beim Punkt 'Referenzfall' einen Sprung in der Steigung der Kurve, der zeigt, daß es beim NO_x ebenfalls Maßnahmen gibt, die, obwohl sie effizienter sind als die im Referenzfall eingesetzten, nicht durchgeführt werden.

Analog der Beschreibung der zusätzlichen Maßnahmen zur SO₂-Minderung werden für einige unterschiedlichen Grenzkosten die NO_x-Minderungsmaßnahmen in den Emittentengruppen beschrieben.

Maßnahmen ohne zusätzliche Kosten

Durch eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf Autobahnen auf 100 km/h bzw. auf Bundesstraßen auf 80 km/h können die NO_x-Emissionen ohne Mehrkosten um 8 kt abgesenkt werden.

Bei den genehmigungsbedürftigen Anlagen können kostenneutral 0,3 kt NO_x gemindert werden. Bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen ist eine Minderung von 2,7 kt ohne finanziellen Mehraufwand durch NO_x-arme Gasbrenner und den Einsatz von Gasgebläsebrennern statt atmosphärischen Brennern in größeren Gasheizungen möglich.

Die gesamte NO_x-Minderung ohne zusätzliche Kosten beträgt somit 11,2 kt.

Maßnahmen mit Grenzkosten bis 5 DM/kg NO_x

Bei den genehmigungsbedürftigen Anlagen wird der Einsatz von kombinierten Primärmaßnahmen verstärkt. Von den insgesamt bei den genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen geminderten 4,1 kt NO_x werden durch diese Maßnahme fast 50% reduziert. Weitere SCR-Anlagen tragen mit fast 1,7 kt zur Minderung bei.

In den Feuerungen der nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen werden zusätzlich neue Brenner in Ölzentralheizungen eingesetzt, so daß sich die Minderung der NO_x -Emissionen auf 3,3 kt beläuft.

Im Verkehrsbereich können durch den Einsatz von ungeregelten Katalysatoren in der Hubraumklasse unter 1000 ccm die NO_x -Emissionen um 5,2 kt reduziert werden. Die dabei anfallenden Kosten betragen 16,3 Mio DM/a. Insgesamt lassen sich bei Grenzkosten von 5 DM/kg NO_x fast 21 kt NO_x bei Kosten von 30 Mio DM/a mindern.

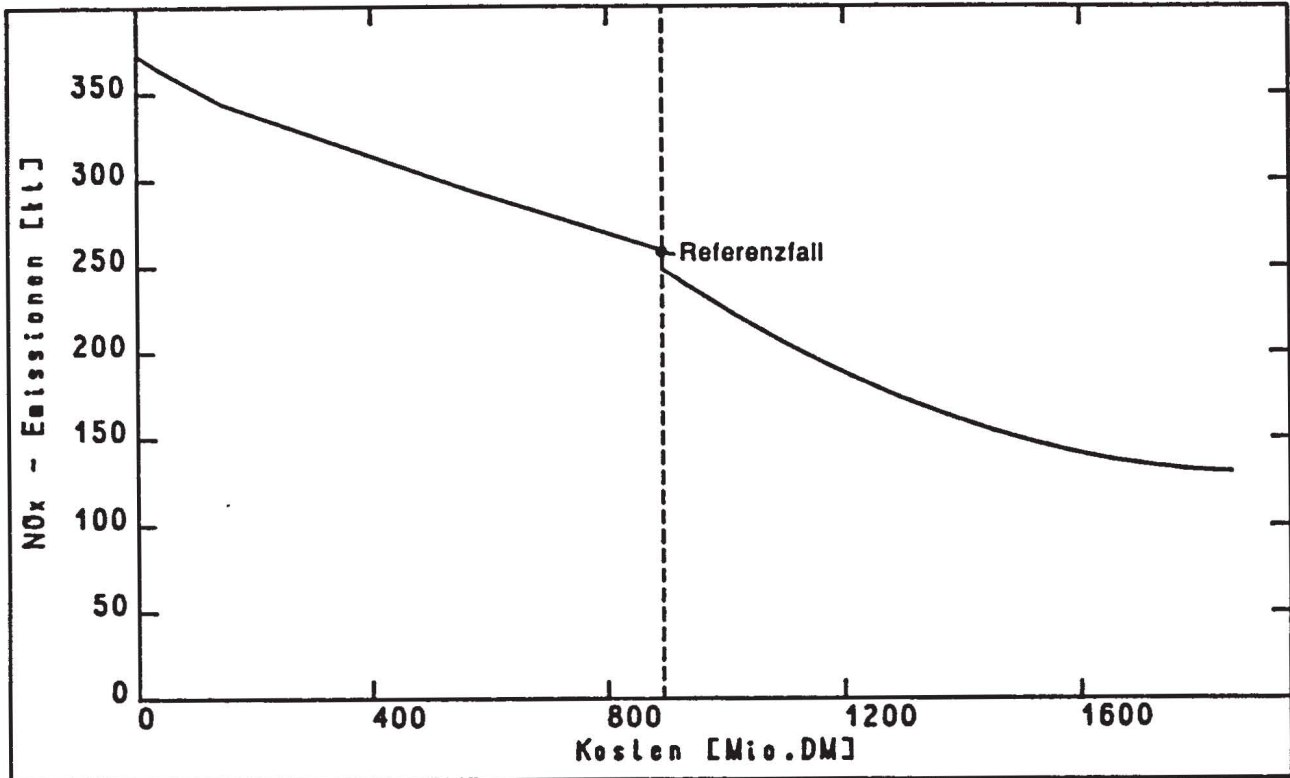


Abb. 2: Kosten und NO_x -Minderung von Minderungsmaßnahmen im Jahr 2000

Maßnahmen mit Grenzkosten bis 10 DM/kg NO_x

Bei den genehmigungsbedürftigen Anlagen werden weiter kombinierte Primärmaßnahmen eingesetzt. Außerdem wird verstärkt Steinkohle durch Erdgas substituiert, so daß sich die Minderung bei den genehmigungsbedürftigen Anlagen auf insgesamt 6,3 kt beläuft. In der Mineralölindustrie können durch die Substitution von schweren Rückstandsprodukten sowie durch den gleichzeitigen Einbau von neuen NO_x -armen Brennern die NO_x -Emissionen um ca. 2,8 kt gemindert werden. Bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen beträgt die gesamte Minderung fast 3,6 kt. Die Anzahl neuer Brenner in Ölzentralheizungen geht dabei wieder zurück, statt dessen wird in diesen Anlagen das leichte Heizöl durch Gas ersetzt.

Im Straßenverkehr können alle Pkw mit einem geregelten Katalysator ausgerüstet werden. Die NO_x -Emissionen sinken dadurch um ca. 103 kt, die gesamte Minderung bei diesen Grenzkosten beträgt fast 113 kt, die Mehrkosten betragen ca. 790 Mio DM/a.

Werden Maßnahmen bis zu Grenzkosten von 50 DM/kg NO_x eingesetzt, kann eine Gesamtminderung von knapp 132 kt in allen Sektoren erzielt werden. Die entstehenden Kosten belaufen sich auf ca. 870 Mio DM/a.

Aus den Ergebnissen der zusätzlichen NO_x-Minderungsmaßnahmen läßt sich zusammenfassen:

- Bei den nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen für Erdgas und leichtes Heizöl sind eine ganze Reihe von Anlagen auf dem Markt erhältlich, die die durchschnittlichen spezifischen NO_x-Emissionen von herkömmlichen Anlagen unterschreiten. Dabei entstehen zum Teil nur geringe Mehrkosten. Hier ist also ein mengenmäßig sehr begrenztes, jedoch sehr effizientes Potential zur NO_x-Minderung vorhanden.
- Bei den genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen sind es vor allem Kombinationen von Primärmaßnahmen, die weitergehende effiziente NO_x-Emissionsminderungen erlauben. Die Möglichkeiten von Anlage zu Anlage jedoch sehr unterschiedlich.

Wie bei der Minderung der SO₂-Emissionen kommt dem Erdgas auch bei der Minderung der NO_x-Emissionen eine besondere Bedeutung zu, weil sich an erdgasgefeuerten Anlagen im allgemeinen niedrigere spezifische NO_x-Emissionen realisieren lassen als an Feuerungen für andere Brennstoffe.

- Im Sektor Verkehr ist derzeit der Einsatz des geregelten Katalysators bei Pkw die Maßnahme mit dem höchsten Minderungspotential. Die Entwicklung von effizienten Minderungsmaßnahmen bei Lkw scheint vordringlich. Darüberhinaus ist auch die Weiterentwicklung des Magerkonzeptes interessant.

5 Regionale Betrachtungen zusätzlicher Minderungsmaßnahmen

Die Vorgehensweise für die einzelnen Kreise ist identisch mit der, die für das gesamte Land angewendet wird. Es ergeben sich für alle Kreise Kostenkurven, die miteinander verglichen werden können.

Es werden folgende sechs Kreise ausgewählt:

- Kreis K1: Ballungsgebiet, Standort fossil gefeuerter Kraftwerke, sehr große Industriefeuerungen (Stadtkreis Karlsruhe)
- Kreis K2: Ballungsgebiet, Standort fossil gefeuerter Kraftwerke, mehrere größere Industrieanlagen, (Stadt-kreis Mannheim)
- Kreis K3: ländlicher Raum, einige mittelgroße Städte, keine Kraftwerke, eine größere, mehrere kleinere Industriefeuerungen, (Landkreis Ravensburg)
- Kreis K4: Ballungsgebiet, Teile des Kreises ländlich strukturiert, Standort fossil gefeuerter Kraftwerke, einige mittlere Industriefeuerungen, (Landkreis Esslingen)
- Kreis K5: ländlicher Raum, keine Kraftwerke, eine große Industriefeuerung, (aus Datenschutzgründen kann der Name des Kreises nicht genannt werden)
- Kreis K6: ländlicher Raum, keine Kraftwerke, keine größeren Industriefeuerungen, (Landkreis Sigmaringen)

Für die über den Referenzfall hinausgehenden Maßnahmen zur SO₂-Minderung sind in Abb. 3 die Kostenkurven für die sechs ausgewählten Kreise aufgetragen.

Im Kreis K1 können die SO₂-Emissionen nahezu halbiert werden. Das wesentliche zusätzliche Minderungspotential von fast 44% ist an einigen wenigen sehr großen Feuerungsanlagen durch Umstellung auf Erdgas zu erreichen. An kleineren genehmigungsbedürftigen Anlagen sind weitere Minderungen durch die Umstellung von Steinkohle und schwerem Heizöl auf Erdgas effiziente Maßnahmen. Reduktionen an nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen bieten lediglich ein Potential von etwas mehr als 1% der Ausgangsemissionen. Dies ist unter anderem auf die in diesem Kreis gut ausgebauten Fernwärme- und Erdgasnetze zurückzuführen, so daß bereits im Referenzfall die SO₂-Emissionen des Hausbrands gering sind. Die verbleibenden SO₂-Emissionen stammen zum Großteil aus den Kraftwerkskesseln und Industriefeuerungen, die Rauchgasreinigungsanlagen haben, sowie aus Prozeßfeuerungen.

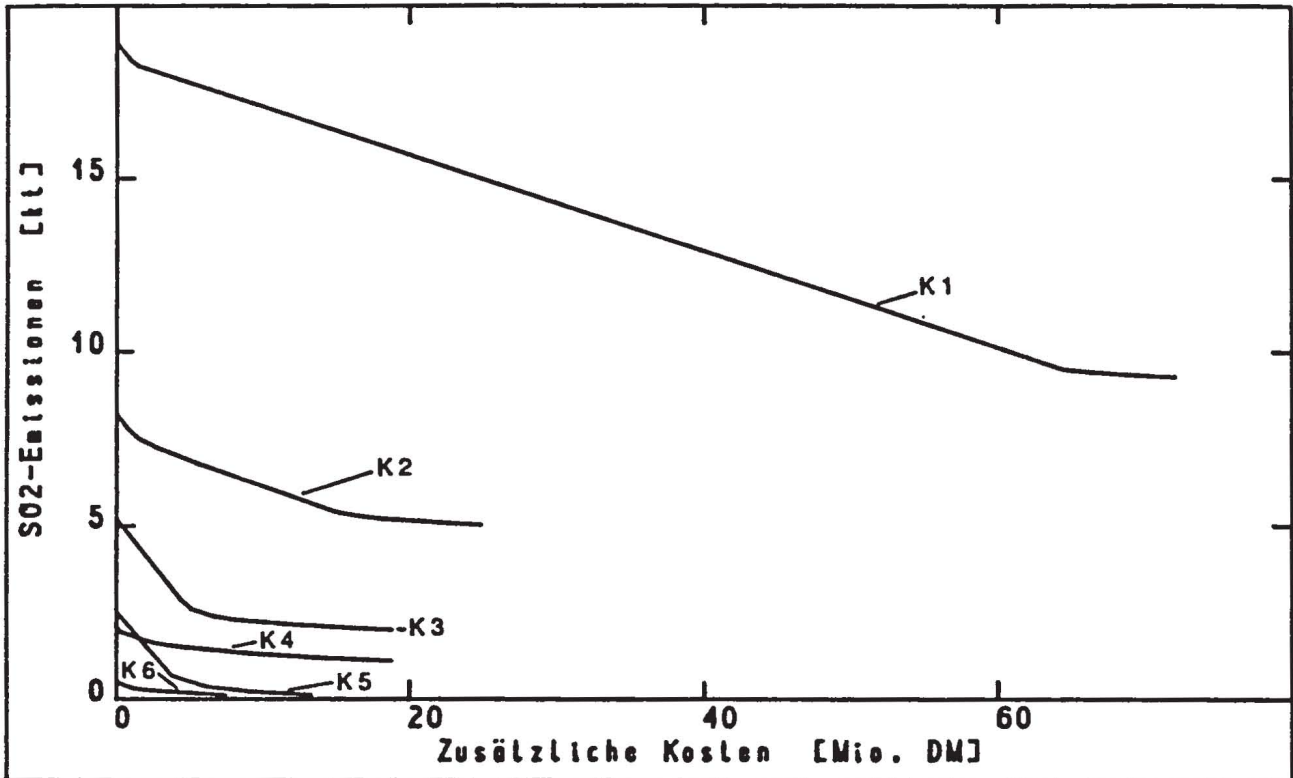


Abb. 3: Kosten und SO₂-Minderungen durch zusätzliche Minderungsmaßnahmen in ausgewählten Kreisen

Im Kreis K2 können die Emissionen gegenüber dem Referenzfall um 40% gemindert werden. Mehrere sehr große Feuerungsanlagen in den Kraftwerken und in der Industrie haben bereits Rauchgasreinigungsanlagen, bei denen trotz der hohen Reinigungsgrade von über 90% aus diesen Anlagen Restemissionen verbleiben. An großen Feuerungsanlagen beträgt das Minderungspotential 35%, an mehreren Anlagen ist die Substitution von schwerem Heizöl oder Steinkohle hin zu Erdgas eine effiziente Maßnahme. Auch Rauchgasreinigungsanlagen kommen in Betracht. An nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungen sind Umstellungen von Kohle auf leichtes Heizöl, der Einsatz von Erdgas statt leichtem Heizöl und Rauchgaswäscher in einigen größeren Anlagen effiziente Reduktionsmöglichkeiten.

Um über 60% können die SO₂-Emissionen im Kreis K3 reduziert werden, davon sind die mit Abstand höchsten Minderungen von ca. 32% des Ausgangsniveaus in genehmigungsbedürftigen Anlagen möglich. Meist handelt es sich um die Substitution von schwerem Heizöl und Steinkohle durch Erdgas. Bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen werden im Prinzip die gleichen Maßnahmen eingesetzt wie im Kreis K2, jedoch können hier deutlich mehr Zentralheizungen von leichtem Heizöl auf Erdgas umgestellt werden. Nahezu die Hälfte der zusätzlichen Emissionsminderungen wird in diesem Kreis beim Hausbrand erreicht.

Im Kreis K4 ist eine zusätzliche Minderung der SO₂-Emissionen von 45% möglich. Das Reduktionspotential ist in diesem Kreis mit 25% bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen größer als bei den genehmigungsbedürftigen (20%). Die geringeren Minderungen an genehmigungsbedürftigen Anlagen sind darauf zurückzuführen, daß in diesem Kreis keine Steinkohlekessel in der Industrie und bei den Kleinverbrauchern vorhanden sind. Die höchsten Emissionsminderungen werden bei den genehmigungsbedürftigen Anlagen durch die Substitution von schwerem Heizöl und leichtem Heizöl durch Erdgas erreicht. Bei den nicht

genehmigungsbedürftigen Anlagen bzw. beim Hausbrand kann durch verstärkten Erdgaseinsatz noch mehr SO_2 gemindert werden als im Kreis K3. Vor allem in den ländlich strukturierten Teilen des Kreises ist dies durch den im Referenzfall noch hohen Anteil von Ölzentralheizungen möglich.

Im Kreis K5 liegt das Reduktionspotential mit 95% extrem hoch. 85% davon liegen bei genehmigungsbedürftigen Anlagen, wobei hier eine Anlage mit 70% des gesamten Minderungspotentials an der Spitze liegt. Diese Minderung würde durch die Substitution von Steinkohle durch Erdgas ermöglicht. Die restliche Minderung beruht bei den genehmigungsbedürftigen Anlagen auf der Substitution von schwerem Heizöl, in geringem Maß auch von leichtem Heizöl durch Erdgas.

Bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen gleichen sich die Kreise K5 und K6. Die Struktur der Anlagen ist ähnlich, als zusätzliche Maßnahme wird die verstärkte Substitution von leichtem Heizöl durch Erdgas eingesetzt.

Abb. 4 zeigt analog der Abb. 3 die Kosten und Minderungen im Referenzfall und für zusätzliche Maßnahmen zur Minderung der NO_x -Emissionen in den ausgewählten Kreisen Baden-Württembergs. Die Kostenkurven zeigen praktisch keine Unterschiede in ihrem Verlauf. Das gesamte Minderungspotential schwankt in den Kreisen zwischen 35 und 53%, wobei die Einführung des geregelten Katalysators in Sektor Verkehr fast überall den größten Anteil an den Reduktionen aufweist. Lediglich im Kreis K1, in dem sich Kraftwerke und einige große Industriefeuerungen befinden, tragen die Umstellung auf Erdgas und die Einführung von kombinierten Primärmaßnahmen einen erwähnenswerten Beitrag zur Minderung der NO_x -Emissionen bei.

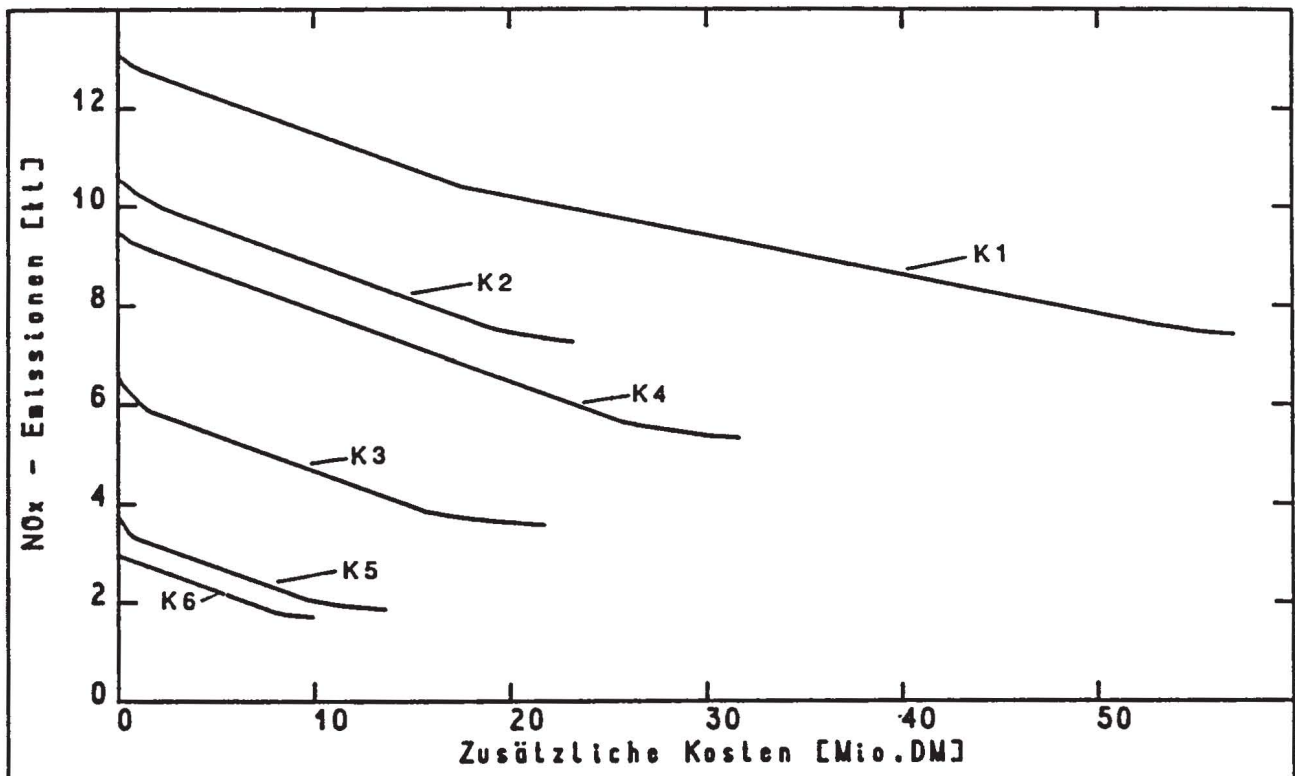


Abb. 4: Kosten und NO_x -Minderungen durch zusätzliche Minderungsmaßnahmen in ausgewählten Kreisen

Aus den regionalen Betrachtungen können bezüglich der SO_2 - als auch der NO_x -Minderungsstrategien folgende Aussagen getroffen werden:

- Bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen sind die effizienten Maßnahmen in allen Kreisen gleich. Unterschiede bestehen aber beim Minderungspotential der einzelnen Maßnahmen. In den eher ländlich strukturierten Kreisen des Landes ist der Anteil der leitungsgebundenen Energieträger Erdgas und Fernwärme niedriger, der Anteil von leichtem Heizöl und Kohle somit höher als in den Ballungsgebieten. Daher ist in ländlichen Gegenden auch das Potential der Brennstoffumstellung auf schwefelarme Energieträger höher.
- Bei den genehmigungsbedürftigen Anlagen (ohne öffentliche Kraftwerke) ist das Minderungspotential stark von der Anlagenstruktur abhängig. Gerade in Kreisen mit nur wenigen Anlagen kann die prozentuale Minderung besonders hoch sein, da diese wenigen Anlagen häufig mit Kohle oder schwerem Heizöl betrieben werden. Damit stellen sie die größten Emittenten von SO₂ dar. In Ballungsgebieten sind diese Anlagen dagegen häufig schon auf schwefelarme Brennstoffe umgestellt oder mit Rauchgasentschwefelungs- bzw. DENOX-Anlagen versehen, so daß zusätzliche Emissionsminderung oft nur in geringem Ausmaß zu erreichen sind.
- Für den Verkehr ist die wirksamste Maßnahme ebenfalls für alle Kreise die gleiche, durch die vollständige Einführung des geregelten Katalysators wird die höchste Minderung der NO_x-Emissionen erzielt. In diesem Sektor können örtliche Konzepte, z.B. Verkehrsberuhigungen oder der Ausbau von öffentlichen Personenverkehrsmitteln in Ballungsgebieten durchaus einen begrenzten zusätzlichen Beitrag zur Minderung der Stickoxidemissionen liefern. Bei den Lkw fehlen nach wie vor Maßnahmen, die ähnlich wie der geregelte Katalysator eine deutliche Minderung der NO_x-Emissionen bewirken.

Literatur

- /1/ Bericht der Arbeitsgruppe "Energiebedarf-Umwelt-Kraftwerksbetrieb" im Auftrag der Landesregierung Baden-Württemberg, Stuttgart, September 1983
- /2/ Bericht der Arbeitsgruppe "Minderung der Stickoxidemissionen aus Kohlekraftwerken in Baden-Württemberg" im Auftrag der Landesregierung Baden-Württemberg, Stuttgart, Oktober 1984
- /3/ Bericht der Arbeitsgruppe "Wirtschaftliche Entwicklung-Umwelt-Industrielle Produktion" im Auftrag der Landesregierung Baden-Württemberg, Stuttgart, Juni 1986
- /4/ Voß, A. et al.: "Perspektiven der Energieversorgung" Gutachten im Auftrag der Landesregierung Baden-Württemberg, Stuttgart 1987
- /5/ Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Struktur- und Regional-Datenbank, Stuttgart 1986
- /6/ Boysen, B. et al.: "Erfassung stündlicher SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg in einer räumlichen Auflösung von 1*1 km für die Zeit der TULLA-Meßkampagne", KfK PEF 21, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1986
- /7/ Landesamt für Straßenwesen Baden-Württemberg (Hrsg.): Straßendatenbank Baden-Württemberg, Stuttgart 1985
- /8/ Nachbarschaftsverband Stuttgart (Hrsg.): "Verkehrsuntersuchung im Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Stuttgart und der Landkreise Böblingen, Esslingen und Ludwigsburg", Band I und II, Stuttgart, März 1985
- /9/ Friedrich, R. et al.: "Untersuchung von umweltpolitischen Instrumenten zur Luftreinhaltung", Veröffentlichung in Vorbereitung, 1990