

Effiziente Immissionsminderungsstrategien - Teil 1:

Berechnung von Emissionsszenarien und Bewertung der Immissionen

R. Friedrich, P. Berner, C. John, A. Obermeier, J. Seier, A. Voß
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
(IER)
Universität Stuttgart

Zusammenfassung

Ziel einer rationalen Luftreinhaltepolitik ist es, durch Verringerung der Schadstoffkonzentration in der Luft Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen zu treffen.

In diesem Vorhaben sollen Immissionsminderungsstrategien identifiziert werden, mit denen sich die Konzentrationen von Luftschadstoffen (insbesondere von O₃, VOC und NO_x) in Baden-Württemberg möglichst effizient vermindern lassen. Für ausgewählte Episoden und verschiedene Emissionsminderungsstrategien werden zunächst vom IER stündliche Emissionswerte für SO₂, NO_x, VOC und CO in hoher räumlicher Auflösung berechnet. Am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) der Universität Karlsruhe werden aus den Emissionswerten anhand von Ausbreitungs- und chemischen Umwandlungsmodellen entsprechende Immissionsdaten ermittelt. Am IER erfolgt schließlich die Bewertung der Immissionsdaten. Bewertet wird dabei die Minderung von Kurzzeitspitzenwerten und typischen Langzeitmittelwerten der Immission, wobei zwischen Belastungs- und Reinluftgebieten unterschieden wird.

In diesem Bericht werden die am IER durchzuführenden Arbeitsschritte des Gesamtvorhabens vorgestellt und diskutiert.

Efficient Strategies of Reduction in Immissions - Part 1:

Calculation of Emission Scenarios and Assessment of Immissions

R. Friedrich, P. Berner, C. John, A. Obermeier, J. Seier, A. Voß
Institut of Energy Economics and Rational Use of Energy (IER)
University of Stuttgart

Summary

The aim of a rational air pollution control policy is to avoid destructive impacts on the environment by reducing the concentration of air pollutants.

In this project strategies of reduction in immissions, which efficiently diminish the concentration of air pollutants (espe-

cially O₃, VOC and NO_x) in the state of Baden-Württemberg, will be identified. In a first step, hourly emissions of SO₂, NO_x, VOC and CO are calculated by the IER with a high spatial resolution for selected periods and different strategies of reduction in emissions. At the Institute of Meteorology and Climate Research in Karlsruhe immission data will be calculated using the emission data as input for atmospheric diffusion and chemical conversion models. Finally the IER will be concerned with the assessment of the immission data. The assessment covers the reduction in peak values and typical average values of immissions, distinguishing between areas with low or high immission concentrations.

In the present report working steps are introduced and discussed which are carried out at the IER.

Problemstellung

Ziel einer rationalen Umweltpolitik ist es, Schäden durch Luftschadstoffe möglichst zu vermeiden und darüber hinaus Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen zu treffen. Dabei ist auch darauf zu achten, daß dieses Ziel effizient, also mit den geringst möglichen volkswirtschaftlichen Kosten erreicht wird. In der Umweltökonomie wird weiter abgeleitet, daß Emissionsminderungen so lange erfolgen sollten, bis die Grenzkosten der Schadstoffminderung den Grenzkosten der Schäden entsprechen, die durch die Luftverunreinigung hervorgerufen werden. Da der Zusammenhang zwischen Emissionen, Immissionen und Schäden aber bisher nicht genau bekannt ist, konnte diese umweltökonomische Forderung bisher auch nicht in operationale Ziele umgesetzt werden.

Um Entscheidungen im Bereich Luftreinhalteung dennoch unterstützen zu können, wurden von den Antragstellern im Auftrag des PEF effiziente Emissionsminderungsstrategien berechnet, die das Ziel hatten, SO_2 - und NO_x -Emissionen so kostengünstig wie möglich zu mindern /Boysen, u.a., 1989/. Das gewünschte Ausmaß der Emissionsminderung kann dabei wissenschaftlich nicht ermittelt werden, es muß von der Politik festgelegt werden. Mit den entwickelten Methoden kann jedoch bestimmt werden, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um das festgelegte Emissionsminderungsziel möglichst effizient zu erreichen.

Abb. 1 zeigt als Beispiel die Kostenkurve der Emissionsminderung von SO_2 - und NO_x -Emissionen in Baden-Württemberg. Um SO_2 - und NO_x -Emissionen vergleichbar zu machen, wurden sie unter Verwendung der IWL-Grenzwerte der TA-Luft als relatives Maß für die Schädlichkeit der Stoffe in Schadstoffäquivalente (SÄQ, $1 \text{ kg SO}_2 = 1 \text{ kg SÄQ}$, $1 \text{ kg NO}_x = 1,75 \text{ kg SÄQ}$) umgerechnet. Dargestellt sind die Kosten, die bei Durchführung der optimalen Emissionsminderungsstrategie entstehen, in Abhängigkeit von den zu erreichenden Emissionsniveaus.

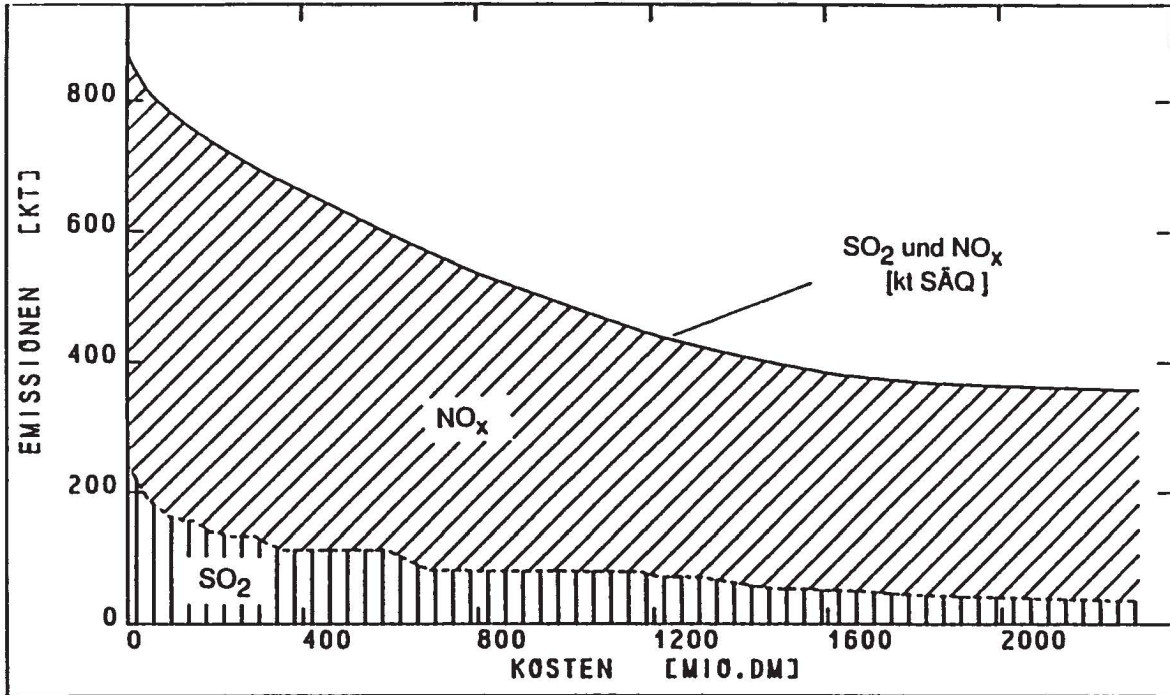


Abb. 1: Kostenkurve der Emissionsminderung von SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg

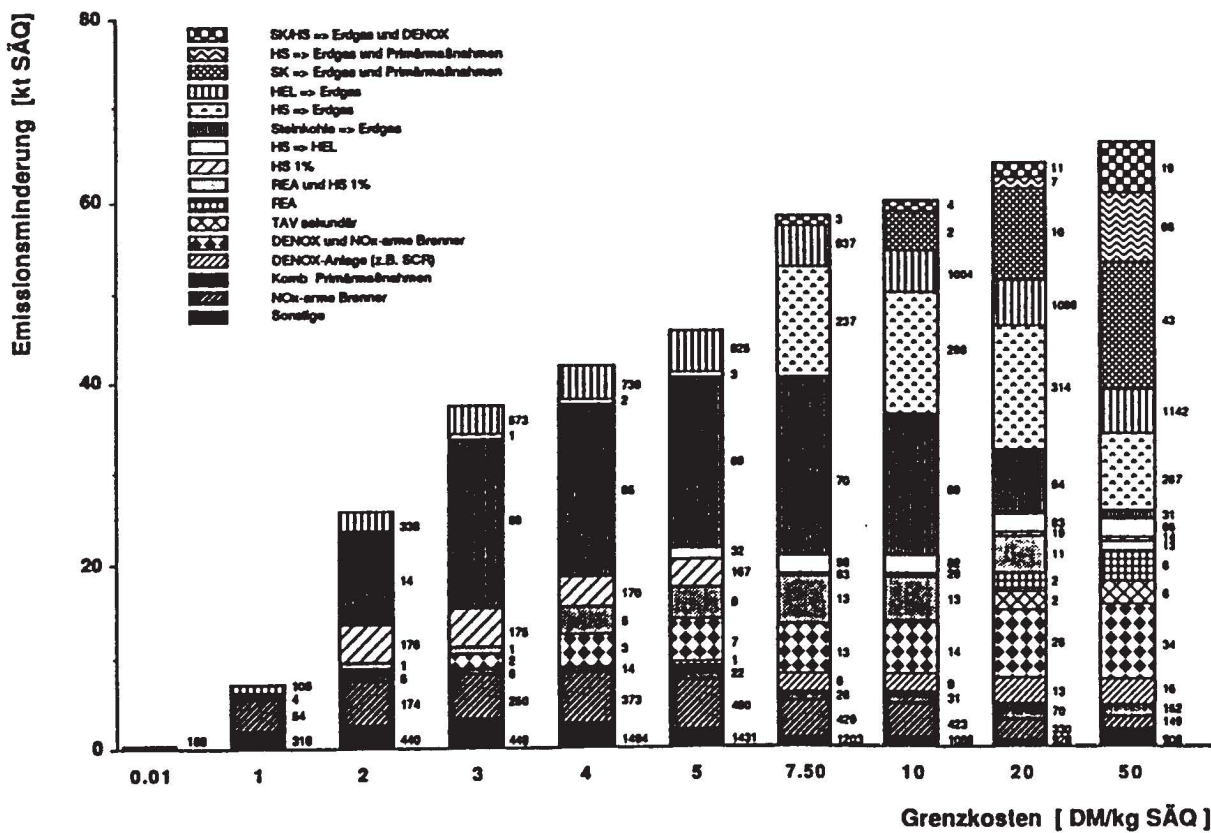


Abb. 2: Darstellung von Einzelmaßnahmen für ausgewählte Punkte auf der Kurve in Abbildung 1

Da zwischenzeitlich geeignete Modelle verfügbar sind, die die Ausbreitung und chemische Umwandlung von Luftschadstoffen hinreichend genau beschreiben /Fiedler, u. a., 1990/, soll im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsvorhabens erstmals abgeschätzt werden, inwiefern Immission und Deposition ausgewählter Luftschadstoffe (SO_2 , NO_x , VOC, O_3) durch den Einsatz verschiedener Strategien zur Minderung von NO_x - bzw. VOC-Emissionen beeinflusst werden. Folgende Fragestellungen stehen dabei im Vordergrund:

- Wie wirken sich die beschlossenen Umweltschutzmaßnahmen (Novellierung der TA-Luft, GFAVO, EG-Grenzwerte bei PKW etc.) auf die räumlich verteilten NO_x -, VOC und O_3 -Immissionen in Baden-Württemberg aus, d. h. wie werden sich die Immissionen in Zukunft ändern?
- Welche Auswirkungen hat die Durchführung verschiedener zusätzlicher Emissionsminderungsmaßnahmen, die die Emissionen über das z. Zt. angestrebte Maß hinaus mindern?
- Welcher Anteil an den Immissionen entsteht durch Emissionen in Baden-Württemberg und kann daher durch Emissionsminderungen in Baden-Württemberg beeinflusst werden?
- Wie ist die Minderung von Emissionen aus hohen Schornsteinen im Vergleich zur Reduktion von Emissionen aus niedrigen Schornsteinen zu bewerten?
- Kann es sinnvoll sein, Emissionsminderungsmaßnahmen regional differenziert durchzuführen? Wie könnte eine sinnvolle, regional differenzierte Emissionsminderungsstrategie in Baden-Württemberg aussehen? Welche Instrumente (Auflagen, Abgaben, Zertifikate) sind dafür besonders geeignet?

Geplante Vorgehensweise

Das Projekt wurde vor wenigen Monaten begonnen; Teilergebnisse sind noch nicht vorhanden. Im folgenden wird daher Zielsetzung und geplantes Vorgehen genauer dargestellt.

Jeder Punkt auf der Kurve in Abb. 1 stellt die Parameter (Kosten/Emissionen) einer optimalen Emissionsminderungsstrategie, d. h. ein Bündel von Emissionsminderungsmaßnahmen dar. Um dies zu verdeutlichen, zeigt Abb. 2 für einige ausgewählte Punkte auf der Kurve in Abb. 1, aus welchen Maßnahmen sich die Minderungsstrategie jeweils zusammensetzt.

Es besteht allerdings das Problem, daß beim Ziel 'Emissionsminderung' jede Mengeneinheit eines bestimmten Schadstoffes gleich bewertet wird, unabhängig von der Höhe des Schornsteins, aus dem sie emittiert wird, unabhängig von der von ihr verursachten tatsächlichen Immissionskonzentration in bestimmten Gebieten, der Menge bzw. Anzahl potentiell geschädigter Rezeptoren usw.. Auch wird bei bisherigen Emissionsminderungsstrategien der Zeitverlauf der Emissionen nicht berücksichtigt, und es spielt im wesentlichen keine Rolle, ob die Emission sich auf ein bisher schon stark belastetes Gebiet oder ein sogenanntes 'Reinluftgebiet' maßgeblich auswirkt. Es liegt auf der Hand, daß die Reduktion der Immissionen das Ziel der Reduktion von Schäden besser abbildet wie die Reduktion der Emissionen, zumal zwischen Emission und Immission im allgemeinen kein linearer Zusammenhang besteht.

Dies wird besonders deutlich, wenn man das umweltpolitische Ziel der Verminderung der Ozonimmissionen betrachtet. Nach Erfolgen bei der Verminderung der SO_2 -Konzentrationen sind derzeit vor allem hohe Konzentrationen von Ozon und anderen Photooxidationen noch als gravierendes Problem in Zusammenhang mit Luftverschmutzung in Baden-Württemberg zu betrachten. Ozon ist ein Sekundärschadstoff, er wird nicht direkt emittiert, sondern entsteht durch komplexe chemische Mechanismen aus Emissionen von NO_x und bestimmten VOC. Der Zusammenhang zwischen Emissionen und Ozonkonzentration ist dabei nicht linear - bei Vorliegen bestimmter Bedingungen kann durch eine Reduktion von NO_x -Emissionen gebietsweise sogar eine Erhöhung der Ozonkonzentration erfolgen. Dies verdeutlicht, daß Strategien zur effizienten Minderung von NO_x - und VOC-Emissionen nicht unbedingt die Ozonkonzentrationen effizient mindern.

Um der aufgegriffenen Problemstellung gerecht zu werden, müssen Emissionsminderungsstrategien hinsichtlich ihrer Effizienz bewertet werden. Dazu ist ein Maßstab für die Bewertung der Effektivität der jeweils erreichten Immissionsminderung erforderlich. Dieser Maßstab hängt von den - noch nicht voll erforschten - Zusammenhängen zwischen Immission und Schäden ab. Dabei stehen heute die drei nachfolgend genannten Theorien über Schadensfunktionen zur Diskussion, die den Zusammenhang zwischen Grad der Immission und Grad der Schädigung beschreiben:

- Eine stark konvexe Schadensfunktion. Das heißt, der Grad der Schädigung nimmt mit dem Grad der Immission überproportional zu. Wird diese Schadensfunktion angenommen, so ist vor allem die Verminderung von kurzfristigen Immissionsspitzen wichtig.
- Eine eher lineare Schadensfunktion. Hier kommt es auf die Verminderung der durchschnittlichen jährlichen Schadstoffkonzentration an.
- Eine Schadensfunktion mit Schwellenwert. Liegt die Schadstoffkonzentration unterhalb des Schwellenwertes, so treten keine oder fast keine Schäden auf. Bei Zugrundelegung dieser Theorie ist eine Immissionsminderung nur dort wichtig, wo dieser Schwellenwert überschritten ist.

Denkbar ist, daß je nach Schadstoff, Konzentrationsbereich und geschädigtem Rezeptor unterschiedliche Funktionsverläufe auftreten. Da der Zusammenhang zwischen Schäden und Immissionen nicht bekannt ist, werden alle drei Funktionsverläufe alternativ berücksichtigt. Die Bewertung der Auswirkungen von Emissionsminderungen wird daher nach folgenden Kriterien durchgeführt:

- Untersuchung des Einflusses der Minderungsstrategien auf die Immissionen während Wetterepisoden, die zu sehr hohen Schadstoffkonzentrationen führen. Dazu werden für das Jahr 1989 Episoden mit entsprechenden Wetterlagen ausgewählt und analysiert.

- Untersuchung des Einflusses der Minderungsstrategien auf typische Immissionskonzentrationen und typische Depositionsraten. Dazu werden verschiedene typische Wetterlagen ausgewählt. Die einzelnen Ergebnisse werden mit der Häufigkeit des Auftretens dieser Wetterlagen gewichtet, um näherungsweise Durchschnittswerte über das Jahr zu ermitteln.
- Sowohl bei den Episoden für Immissionsspitzen als auch bei den Episoden für typische Immissionskonzentrationen werden die Untersuchungen getrennt für Gebiete mit höheren bzw. geringeren Immissionen durchgeführt.

Das Gesamtprojekt wird gemeinsam vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart und vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) der Universität Karlsruhe bearbeitet. Das IER wird dabei schwerpunktmäßig die Erstellung der Emissionsminderungsstrategien und die Auswertung der Immissionsdaten sowie die Umsetzung der Ergebnisse in Handlungsempfehlungen übernehmen, das IMK ist für die Auswahl der Wetterepisoden und die Berechnungen zur Ausbreitung und chemischen Umwandlung von Luftschadstoffen zuständig. Die von beiden Instituten verwendeten Modelle sollen über das bereits existierende schnelle Datennetz (BELWUE) so miteinander verbunden werden, daß eine schnelle Beantwortung der verschiedenen Fragestellungen mit Hilfe der gekoppelten Modellrechnungen ermöglicht wird.

Die vom IER auszuführenden Arbeitsschritte lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Ermittlung der gegenwärtigen Emissionen und der Emissionen, die sich bei Durchführung verschiedener Emissionsminderungsstrategien ergeben. Für jede der ausgewählten Wetterperioden werden stündliche Emissionen der Schadstoffe SO_2 , NO_x , CO und VOC (nach Substanzgruppen differenziert) in Baden-Württemberg für folgende Emissionssituationen berechnet:

- * derzeitige Emissionssituation (Bezugsjahr 1989),
- * Referenzszenario 2000: Emissionssituation bei Durchführung der derzeitigen Umweltschutzgesetzgebung,
- * Emissionen bei Durchführung zusätzlicher Emissionsminderungsmaßnahmen (z. B. im Sektor Verkehr),
- * Emissionen bei Durchführung regional differenzierter zusätzlicher Emissionsminderungsstrategien.

Um die Schadstoffströme nach Baden-Württemberg erfassen zu können, müssen jeweils auch Emissionsdaten der größeren Emittenten im Umkreis von ca. 50 km um das Untersuchungsgebiet ermittelt werden. (Emissionen aus weiter entfernten Quellen beaufschlagen Baden-Württemberg im allgemeinen als ganzes und wirken daher als gleichmäßige 'Hintergrundkonzentration').

- Übermittlung der Emissionsdaten über schnelle Datenleitungen an das IMK und Entgegennahme der Immissionsfelder der verschiedenen Schadstoffe nach den vom IMK berechneten Transport- und chemischen Umwandlungsprozessen.
- Auswertung der Ergebnisse in Bezug auf tatsächliche Immissionsminderungen gegenüber dem Referenzfall sowohl bezüglich Immissionsspitzen als auch bezüglich Langzeitmittelwerten. Diese Auswertungen werden getrennt für 'Belastungsgebiete' und für 'Reinluftgebiete' durchgeführt.
- Ableitung von Empfehlungen. Insbesondere werden effiziente Immissionsminderungsmaßnahmen identifiziert, also Maßnahmen, die die Immissionen (Kurzzeit- und Langzeitwerte) mit den geringst möglichen Kosten reduzieren. Als robuste Maßnahmen werden zusätzlich diejenigen Maßnahmen ausgewiesen, die sowohl bei Kurzzeit- als auch bei Langzeitimmissionen in Belastungs- bzw. in Reinluftgebieten effizient sind. Darüberhinaus sollen Aussagen getroffen werden über Schadstoffimporte, über die Möglichkeit regional differenzierter Minderungsmaßnahmen und über die Vor- und Nachteile verschiedener umweltpolitischer Instrumente (Abgabe, Auflage,

Zertifikat) zur Beeinflussung der Immissionskonzentrationen.

Zusammenfassung

Aufbauend auf umfangreichen Forschungsarbeiten, die am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart sowie am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) der Universität Karlsruhe in den vergangenen Jahren zu den Themenbereichen

- Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungs- und chemischen Umwandlungsmodellen für Luftschadstoffe (IMK)
- Ermittlung zeitlich und räumlich hoch aufgelöster Emissionsdaten für Luftschadstoffe (IER)
- Erarbeitung effizienter Emissionsminderungsstrategien (IER)
- Analyse und Bewertung umweltpolitischer Instrumente zur Luftreinhaltung (IER)

durchgeführt wurden, sollen nun im Rahmen eines Gemeinschaftsvorhabens beider Institute effiziente Immissionsminderungsstrategien für Baden-Württemberg entwickelt und analysiert werden.

Dazu werden solche Maßnahmen zur Emissionsminderung identifiziert, die zu einer effizienten Verminderung von Luftschadstoffimmissionen, insbesondere O_3 , NO_x und VOC in Baden-Württemberg führen.

Ausgerichtet auf bislang gewonnene Erkenntnisse (z. B. können Änderungen der Emissionssituation zu regional sehr unterschiedlichen Änderungen von Immissionskonzentrationen führen) und derzeit noch bestehende Kenntnislücken (z. B. sind die Zusammenhänge zwischen Immissionskonzentration und Grad der Schädigung von Rezeptoren noch nicht voll erforscht) wurde eine Vorgehensweise entwickelt, die eine umfassende Bearbeitung der aufgegriffenen Fragenkomplexe erlaubt.

Da das Vorhaben erst vor wenigen Monaten begonnen wurde, liegen Teilergebnisse gegenwärtig noch nicht vor.

Literatur

Boysen, B.; Mattis, M.; Friedrich, R.; Voß, A., 1989:

Kosteneffektivitäts-Analyse von Maßnahmen zur Minderung von SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg für alle Emissionengruppen unter besonderer Berücksichtigung regionaler Aspekte.

Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 54, September 1989

Fiedler, F.; Adrian, G.; Bär, M.; Nester, K.; Vogel, B.; Vogel, H., 1990:

Ausbreitung von Luftschadstoffen über inhomogenen Gelände bei zeitlich veränderlichen Quellen und atmosphärischen Bedingungen.

Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 61, S. 522-538, April 1990