

## Untersuchung von umweltpolitischen Instrumenten zur Luftreinhaltung

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

Institut für Kernenergetik und Energiesysteme  
Universität Stuttgart

### Zusammenfassung

Um eine rationale Luftreinhaltungspolitik durchführen zu können, ist es notwendig, die im Sinne einer Wohlfahrtsmaximierung optimale Emissionsminderungsstrategie zu identifizieren. In diesem Beitrag wird ein Ansatz sowie ein Optimierungsalgorithmus vorgestellt, mit dem dies auch bei einer großen Zahl von Emittenten möglich ist.

Es stellt sich anschließend die Frage, wie, d.h. durch den Einsatz welcher umweltpolitischer Instrumente, die öffentliche Hand erreichen kann, daß die Emittenten eine optimale Minderungsstrategie auch durchführen. Dazu werden die Eigenschaften der drei grundlegenden Instrumente, nämlich differenzierte Auflagen, Abgaben und Zertifikate, untersucht und bewertet.

### Summary

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

Analysis of Eco-political Instruments for Air Pollution Control

To realise a rational policy for air pollution control, it is necessary to identify optimal strategies for emission reduction, that maximize social welfare. In this paper an approach and an optimization algorithm are presented, that are able to evaluate an optimal strategy even when a very large number of polluters has to be considered.

In a next step the question arises, which of the eco-political instruments is best qualified to ensure, that the optimal reduction strategy identified before is carried through. To analyse that, the characteristics of the three main instruments, namely standards, charges and permits are analysed and evaluated.

## 1 Problemstellung

Die Nutzung der Luft als Medium zur Aufnahme und Verteilung von Schadstoffen verursacht Schäden an Pflanzen, Böden, Grund- und Oberflächenwasser, Materialien usw. Da diese Schäden den Emittenten nicht angelastet werden, bestehen für diese keine Anreize zur Emissionsminderung, solange der Staat nicht regulierend eingreift.

Veranlaßt der Staat Emissionsminderungen, entstehen Kosten für Minderungsmaßnahmen, für schadstoffärmere Produktionsprozesse, für die Verwendung von Alternativprodukten, die schadstoffärmer hergestellt werden, oder es entstehen Nachteile durch einen Verzicht auf bestimmte nur umweltschädigend herzustellende Produkte.

Die Aufgabe einer rationalen Luftreinhaltepolitik besteht nun darin, die Wirkungen von Luftschadstoffen so zu begrenzen sowie die Nutzungsrechte für Emissionen so zu verteilen, daß die Wohlfahrt maximiert wird.

Ausgehend von diesem Ansatz sollen im folgenden zwei Fragen diskutiert werden:

- a) Wie sieht eine optimale Luftreinigung aus? Wie können die dazu einzusetzenden Luftreinhaltemaßnahmen ausgewählt werden?
- b) Wie, d. h. durch den Einsatz welcher umweltpolitischer Instrumente läßt sich erreichen, daß gerade die gewünschten, effizientesten Emissionsminderungsmaßnahmen durchgeführt werden?

## 2 Identifizierung einer optimalen Emissionsminderungsstrategie

### 2.1 Klassische Vorgehensweise

Die klassische Vorgehensweise der Umweltökonomie, um zu Aussagen über die anzustrebende Luftreinigung zu kommen, besteht darin, die Maximierung der Wohlfahrtsfunktion als Maximierungsproblem mit nichtlinearer Zielfunktion und nichtlinearen Randbedingungen zu formulieren /2/.

Es ergibt sich, daß diejenige Umweltpolitik anzustreben ist, bei der die Grenzkosten der Schadstoffminderung gerade den Grenzschaäden der verhinderten Schadstoffemission entsprechen.

Da die Schäden durch die Luftschadstoffemissionen bis jetzt nicht quantifizierbar sind und somit Schadensfunktionen nicht vorhanden sind, wird im sogenannten Standard-Preis-Ansatz /3/ die anzustrebende Höhe der Emissionen nicht berechnet, sondern politisch festgelegt. Die durchzuführenden Minderungsmaßnahmen werden nun so auf die Emittenten verteilt, daß deren Grenzkosten der Schadstoffminderung gleich sind.

Hinreichend für ein Wohlfahrtsoptimum ist die genannte Bedingung aber nur, wenn - u.a. - die Kostenkurve der Schadstoffminderung für jeden Emittenten stetig, differenzierbar und konvex ist. Wie im folgenden gezeigt wird, ist dies jedoch nicht der Fall, die genannte Bedingung ist somit als operationale Handlungsanweisung für die Identifizierung einer optimalen Luftreinhaltestrategie nicht brauchbar.

### 2.2 Kostenfunktion der Schadstoffminderung

Abb. 1 zeigt die Kosten von Maßnahmen zur  $\text{NO}_x$ -Minderung für einen mit schwerem Heizöl gefeuerten Kessel mit einer Leistung von 40 MW und einer Auslastung von 4500 h in Abhängigkeit von der erreichten Emissionsminderung. Als Maßnahmen berücksichtigt wurden  $\text{NO}_x$ -arme Brenner, weitere Primärmaßnahmen, die Umstellung des Kessels auf Erdgas mit  $\text{NO}_x$ -armen Erdgasbrennern und der Einsatz einer SCR-Anlage. Darüberhinaus wurden auch Kombinationsmaßnahmen (SCR-Anlage und Primärmaßnahmen) analysiert. Jedoch wurden - um die Übersichtlichkeit zu wahren - nicht alle möglichen Maßnahmen aufgeführt.



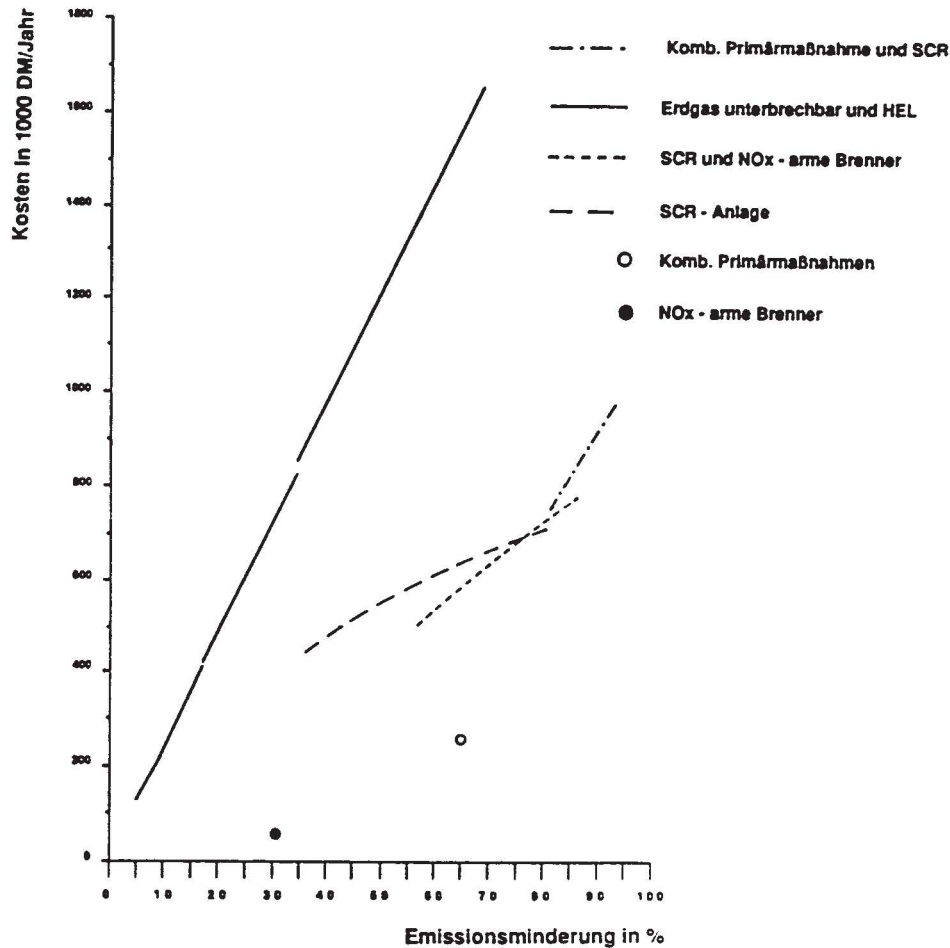


Abb. 1: Kosten der Emissionsminderung in Abhängigkeit vom Minderungsgrad für einen mit Schweröl gefeuerten Kessel

Aus dem Bild läßt sich folgendes entnehmen:

- Es gibt singuläre Punkte. Z. B. läßt sich ein Brenner nur als Ganzes durch einen  $\text{NO}_x$ -armen Brenner austauschen. Auch der "Null-Fall" ohne Emissionsminderung ist i. a. ein singulärer Punkt, da jede noch so kleine marginale Änderung der Emissionen endliche Kosten verursacht.
- Des weiteren existieren Teilfunktionen, die den zunehmenden Einsatz einer bestimmten Technik darstellen. Diese Funktionen sind im allgemeinen aber nicht konvex, sondern konkav. Dies liegt daran, daß die Investitionen bei größer werdender Anlage einer Kostendegression unterliegen - die Grenzkosten der Emissionsminderung pro geminderter Schadstoffeinheit sinken also.
- Beim Übergang von einer Rückhaltetechnik zu einer anderen entstehen i. a. Kostensprünge.
- Darüberhinaus kommt es auch innerhalb einer Technik zu Kostensprüngen. Dies ist in Abb. 1 dargestellt am Beispiel des zunehmenden Erdgaseinsatzes. Rohre, Druckregelanlagen und Brenner gibt es nur in bestimmten Normgrößen. Daher kommt es, sobald ein Übergang auf die nächste Normgröße erforderlich ist, zu einem Kostensprung, gefolgt von einer konkaven Teilkostenkurve.

Allerdings kommen nun keineswegs alle der Kurvenpunkte in Abb. 1 für eine optimale Emissionsminderung in Frage. Seien  $K_i$  die Kosten,  $EM_i$  die Emissionsminderungen durch eine Maßnahme  $i$ . Auszuschließen sind dann alle Punkte  $(K_i, EM_i)$ , für die mindestens ein Punkt  $(K_j, EM_j)$  existiert, für den gilt:

$$EM_j \leq EM_i \text{ und } K_j \geq K_i.$$

Schließt man alle Kurventeilstücke, die diese Bedingung erfüllen, aus, so erhält man eine Kostenkurve, die aus singulären Punkten und konkaven, stetigen Teilstücken besteht; dazwischen gibt es Lücken oder Kostensprünge mit  $\Delta EM \geq 0$  und  $\Delta K \geq 0$ .

Die für ein Wohlfahrtsoptimum in Betracht kommenden Punkte lassen sich jedoch weiter einschränken. Es gilt folgender Satz:

Für ein Wohlfahrtsoptimum kommen - bei konkaven Teilkurven - nur die oberen End-

punkte, also die Endpunkte mit höherer Emissionsminderung in Frage.

Bei linearem oder konkavem Verlauf der Schadensfunktion, die den Schaden in Abhängigkeit von den Emissionen angibt, ist dies unmittelbar anschaulich: erhöht man die Emissionsminderung, so sinken die Grenzkosten der Schadstoffminderung, da die verminderten Grenzschäden aber nicht ansteigen, sinkt auch die Summe aus Grenzkosten und Grenzschäden; folglich ist der neue Zustand optimaler als der alte. Dies kann solange durchgeführt werden, bis der obere Endpunkt der konkaven Teilkostenkurve erreicht wird.

Der obige Satz gilt aber auch, wenn die Grenzschäden mit wachsenden Emissionen zunehmen, die Schadensfunktion also konvex ist, sobald man mehrere Emittenten betrachtet.

Auf die Herleitung dieses Satzes wird an dieser Stelle aus Platzgründen verzichtet, hierzu sei auf den Endbericht /1/ verwiesen.

Somit haben wir die möglichen Zustände der optimalen Emissionsminderung auf einige diskrete Punkte reduziert. Diese entsprechen der 100 %-Ausnutzung bestimmter Technologien bzw. Techniken zur Schadstoffminderung.<sup>1)</sup>

Nunmehr kann ein neuer Ansatz zur Identifizierung optimaler Luftreinhaltestrategien entwickelt werden, der die speziellen Eigenschaften der Kostenkurven der Schadstoffminderung berücksichtigt.

### 2.3 Ansatz zur Ermittlung optimaler Emissionsminderungsstrategien

Dazu wird zunächst eine Referenzentwicklung festgelegt, die die Entwicklung der für die Wohlfahrt maßgebenden Parameter, insbesondere die Entwicklung der Umweltqualität, beschreibt, die sich einstellt, wenn die derzeit erkennbaren Trends und Zusammenhänge sowie die derzeit vorhandene Umweltschutzgesetzgebung fortbestehen.

Ausgehend von dieser Referenzentwicklung können nun die für ein Optimum in Frage kommenden Minderungsmaßnahmen - wie oben beschrieben - identifiziert werden.

Seien  $M_{ij}, j = 0, m$ , die möglichen Emissionsminderungsmaßnahmen eines Emittenten  $i$ . Der Fall  $j = 0$  bezeichnet dabei den Fall, daß Minderungsmaßnahmen nicht durchgeführt werden. Zu jeder Maßnahmen  $M_{ij}$  gehört ein Wertepaar  $(K_{ij}, EM_{ij})$ , das die Kosten und die Emissionsminderung der Maßnahmen - ausgehend vom Referenzfall - bezeichnet. Dann lassen sich verschiedene Emissionsminderungsstrategien  $S_k$  durch Kombination jeweils einer Maßnahme für jeden Emittenten definieren. Um die optimale Luftreinhaltepolitik zu ermitteln, muß nun aus allen möglichen Emissionsminderungsstrategien  $S_k$  diejenige herausgefunden werden, bei der die Erhöhung der Wohlfahrt  $\Delta W_k$  gegenüber der Referenzentwicklung maximal wird, für die also gilt:

$$\Delta W_k = S_k - (K_{1,k} + K_{2,k}, \dots, K_{n,k}) = \max \quad (1)$$

mit  $K_{i,k}$  = Kosten für die Minderungsmaßnahme, die bei Strategie  $k$  beim Emittenten  $i$  durchgeführt wird  
 $S_k$  = Schäden, die auf Grund der Minderung der Emissionen gegenüber der Referenzentwicklung vermieden werden.

Da allerdings der Zusammenhang zwischen Emissionen und Wirkungen bzw. Schäden nicht bekannt ist, führt auch diese Gleichung noch nicht zu operationalen Hand-

---

<sup>1)</sup> Soweit in einigen Einzelfällen konvexe Teilkostenkurven vorkommen, können diese durch diskrete Stützpunkte näherungsweise abgebildet werden.



lungsanweisungen. Es müssen vielmehr weitere Annahmen bezüglich der Schadensfunktion getroffen werden.

Es wird daher angenommen, daß

- der Schaden  $S$  von der Summe der Emissionen  $E_i$  aller Emittenten  $i$  abhängt:  
 $S = F(\sum a_i E_i)$  mit  $a_i = \text{konstant}$ .

Die  $a_i$  sind ein Maß für die relative Schädlichkeit einer Schadstoffeinheit beim Emittenten  $i$  im Vergleich zu den Emissionen der anderen Emittenten.

Im folgenden werden die  $a_i$ , um die Übersichtlichkeit zu erhalten, alle gleich 1 gesetzt.

- die Schadensfunktion konvex ist, die marginalen Schäden mit zunehmenden Emissionen also gleichbleiben oder zunehmen, nicht aber abnehmen.

Es läßt sich zeigen (siehe /1/), daß bei diesen Annahmen Gl. (1) separierbar ist in getrennte Gleichungen für alle Emittenten  $i$ :

$$\beta \cdot EM_{ik} - K_{ik} = \max.$$

Dabei bezeichnet  $\beta$  den Grenzscha-den, den die Emissionen bei Vorliegen der optimalen Minderungsstrategie verursachen.

Diese Separierbarkeit bzw. die zugrundeliegenden Annahmen ermöglichen erst die Anwendung von pauschalen, d. h. für alle Emittenten geltenden Abgaben und von Zertifikatregelungen.

Die obigen Annahmen sind allerdings nur mit Einschränkungen gültig. Insbesondere wird ja postuliert, daß sich Schäden durch Mehremissionen eines Emittenten durch Minderemissionen anderer Emittenten ausgleichen lassen. Dies ist jedoch - bei räumlich verteilten Emittenten - sicher dann nicht mehr der Fall, wenn an einzelnen Stellen Immissionen auftreten, die mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit zu akuten Gesundheitsschäden führen. Um dies zu berücksichtigen, müssen daher zusätzlich zu allen regional gültigen Auflagen, Abgaben und Zertifikatsregelungen, die sich auf die Emissionen beziehen, zusätzlich Immissionsgrenzwerte festgesetzt werden. Die Existenz von Immissionsgrenzwerten, die vor Gesundheitsgefährdung schützen, wird im folgenden vorausgesetzt.

Da die Schadensfunktion - wie bereits diskutiert - nicht bekannt ist, muß der Grenzscha-den  $\beta$  - in Analogie zum sog. Standard-Preis-Ansatz von Baumol und Oates /3/ - festgelegt werden.  $\beta$  kann dabei als abgeschätzter Grenzscha-den, oder als maximal aufzuwendende Grenzkosten der Schadstoffminderung interpretiert werden.  $\beta$  kann auch so festgelegt werden, daß ein bestimmtes Emissionsniveau erreicht wird. Im Unterschied zum Standard-Preis-Ansatz wird aber das Emissionsniveau bei Änderungen des Standes der Technik oder bei Industrieneuansiedlungen oder Stilllegung von Feuerungsanlagen nicht konstant gehalten, da dies dem gewählten Ansatz (Maximierung der Wohlfahrt) offensichtlich widersprechen würde.

Die beschriebene Separierbarkeit des Problems in Teilprobleme für jeden Emittenten macht es möglich, Gl. (1) statt durch aufwendige Optimierungsverfahren wie etwa die dynamische Optimierung durch ein relativ einfaches Verfahren zu lösen. Erst dadurch wird die Behandlung mehrerer tausend Emittenten bzw. Emittentengruppen möglich.

Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- a) Alle möglichen Minderungsmaßnahmen und alle technisch möglichen Maßnahmenkombinationen  $j$ , beschrieben durch Kosten  $K_{ij}$  und Emissionsminderungen  $EM_{ij}$ , werden für alle Emittenten  $i$  nach steigenden  $EM_{ij}$  geordnet.

b) Zwischen jeweils benachbarten Maßnahmen werden Differenzkosten und Differenzminderungen ermittelt.

$$\begin{aligned}\Delta EM_{ij} &= EM_{ij} - EM_{i,j-1} \\ \Delta K_{ij} &= K_{ij} - K_{i,j-1}\end{aligned}$$

c) Es werden spezifische Differenzkosten pro Schadstoffeinheit  $\Delta SK_{ij}$  berechnet:

$$\Delta SK_{ij} = \frac{\Delta K_{ij}}{\Delta E_{ij}}$$

d) Es werden alle Maßnahmen j von der weiteren Auswertung ausgeschlossen, für die gilt:

$$\Delta SK_{ij} \geq \Delta SK_{ij-1} .$$

Diese Maßnahmen kommen für eine Optimum nicht in Frage (siehe /1/).

e) Die optimale Maßnahme bzw. Kombination l ist nun diejenige, für die gilt:

$$\begin{aligned}\Delta SK_{i,l} &\leq \beta \\ \Delta SK_{i,l+1} &> \beta\end{aligned}$$

Wie sich leicht zeigen läßt /1/, wird mit diesem Algorithmus bei gegebenen  $\beta$  die optimale Emissionsminderungsstrategie ermittelt.

Ordnet man die Maßnahme aller Emittenten nach steigenden spezifischen Differenzkosten, und trägt dann die kumulierten Differenzkosten über den kumulierten Differenzemissionsminderungen auf, so erhält man eine integrale Kostenkurve der Emissionsminderung für alle Emittenten eines Untersuchungsgebiets. Solche Kurven sind in /6/ dargestellt.

Aus diesen Kurven können entnommen werden:

- die minimalen Kosten, um eine gewünschte Emissionsminderung zu erreichen.
- die maximale Emissionsminderung, die mit gegebenen Kosten erreicht werden kann.
- Emissionsminderung und Kosten, die bei einem vorgegebenen Grenzscha-den im optimalen Fall entstehen.

Eine solche Kostenkurve der Emissionsminderung kann dazu dienen, das gewünschte Luftreinhalteziel festzulegen. Nach der Festlegung des gewünschten optimalen Zustandes kann zudem anhand der Grunddaten, die zum Aufbau der Kostenkurve verwendet wurden, festgestellt werden, welche Einzelmaßnahmen bei jedem Emittenten durchgeführt werden müssen, um eine optimale Luftreinhaltung zu erreichen.

Es stellt sich nun die Frage, mit welchen Instrumenten der Umweltpolitik die so ermittelte effiziente Emissionsminderung am ehesten erreicht wird.

### 3 Vergleich und Bewertung umweltpolitischer Instrumente

Aus den bisher Gesagten ergibt sich unmittelbar, daß es für den Staat drei prinzipielle Möglichkeiten gibt, um den gewünschten optimalen Zustand der Luftreinhaltung zu erreichen.

- a) Jeder Emittent erhält eine individuelle Auflage, die ihn zur Durchführung der optimalen Maßnahme veranlaßt (differenzierte Auflage).
- b) Jeder Emittent zahlt eine Abgabe in Höhe der Grenzkosten  $\beta$ . Er wird dadurch veranlaßt, die oben beschriebenen Optimierungsaufgabe selbst durchzuführen.
- c) Es werden Emissionsrechte als Zertifikate in Höhe der gewünschten Gesamtemissionen ausgegeben, diese können gehandelt werden. Es stellt sich theoretisch ein Zertifikatspreis in Höhe von  $\beta$  ein, der die Emittenten zur Durchführung der optimalen Minderungsmaßnahmen veranlaßt.



Daneben gibt es eine Reihe weiterer Instrumente wie etwa die "bubble" - oder "offset"-policy, die als Spezialfälle den oben beschriebenen "Grundinstrumenten" zugeordnet werden können. Da die Betrachtung weiterer Instrumente somit keine grundlegenden neuen Erkenntnisse ergibt, werden im folgenden nur die drei aufgezählten Instrumente betrachtet.

Als Bewertungsmaßstäbe kommen eine ganze Reihe von Kriterien in Betracht, etwa der Grad der Erreichung des Umweltschutzzieles, die dynamische Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen, Auswirkungen auf den Wettbewerb, Auswirkungen auf die Energieversorgungsstruktur, administrativer Aufwand, usw..

Im folgenden sollen vier wesentliche Kriterien diskutiert werden, und zwar:

- die statische Zielerreichung
- die dynamische Anpassungsfähigkeit an veränderte Rahmenbedingungen
- die Anreizwirkung zur Erzielung technischen Fortschritts bei der Emissionsminderung
- Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit.

Die statische Zielerreichung mißt, inwieweit durch den Einsatz des Instruments die optimale Minderung im Sinne einer Wohlfahrtsoptimierung erreicht wird. Werden die Maßnahmen mit Emissionsminderungen  $EM_{im}$  durchgeführt, so können die Abweichungen von Optimum  $\Delta W_m$  näherungsweise dargestellt werden durch

$$\Delta W_m = \sum_1^m \beta (EM_{ik} - EM_{im}) - (K_{ik} - K_{im}),$$

wobei die Maßnahmen  $k$  die optimalen Maßnahmen bezeichnen.

Hinsichtlich der zu prüfenden Instrumente gilt zunächst, daß alle drei - also differenzierte Auflagen, Abgaben und Zertifikate - unter idealen Bedingungen den optimalen Zustand gleichermaßen induzieren. In der Praxis treten allerdings Abweichungen von optimalen Zustand auf Grund verschiedener Hemmnisse auf. Diese Sichtweise unterscheidet sich von der in der Literatur, bei der meist eine sehr undifferenzierte und diesbezüglich auch unrealistische Auflagenlösung mit idealen marktwirtschaftlichen Instrumenten verglichen wird.

Die erwähnten Hemmnisse sind nun je nach Instrument unterschiedlich.

Die Auflagen, wie sie etwa derzeit eingesetzt werden, sind relativ effizienter als in der ökonomischen Literatur dargestellt. Zum einen sind sie sehr wohl differenziert - z.B. nach Feuerungsart, Anlagengröße und Brennstoff - und berücksichtigen daher die unterschiedlichen technischen Möglichkeiten und deren Kosten. Zudem bedingen die Grenzwerte zumeist eine vollständige Auslastung einer bestimmten Technik (z. B. die Entschwefelung von 100 % des Rauchgases), was oben als eine Bedingung für ein Optimum genannt wurde.

Die Abweichungen von Optimum entstehen in der Praxis vor allem durch zwei Gegebenheiten:

- Erstens durch die ungenügende Betrachtung der Retrofit-Kosten. Die individuellen Kosten der Umrüstung bestehender Anlagen hängen stark von den örtlichen Gegebenheiten ab. So ist beispielsweise eine wichtige Frage, wo gegebenenfalls Platz für die Emissionsminderungsanlage vorhanden ist. Unter Umständen kann sich eine Anlage dadurch erheblich verteuern.
- Zweitens durch die ungenügende Berücksichtigung der Auslastung der Anlage. Bei Maßnahmen mit hohen Investitionen steigen die spezifischen Minderungskosten bei geringer Auslastung der Anlage stark an. Die Auslastung wird aber bei den derzeit bestehenden Auflagen nicht zur Differenzierung herangezogen. Allerdings gibt es durchaus Möglichkeiten, die Auslastung näherungsweise zu berücksichtigen - etwa durch Ausnahmeregelungen für Kessel mit geringer Auslastung (Reservekessel) oder durch Differenzierung der Auflage nach Branchen.



Die Abweichungen vom Optimum durch die genannten Hemmnisse werden aber auf Grund zweier anderer Gesetzmäßigkeiten begrenzt:

- Da - wie gezeigt - die spezifische Differenzminderungskosten beim Übergang von einer Maßnahme auf die nächste sprunghaft ansteigen, führen kleinere Änderungen der erwarteten von den tatsächlichen Kosten noch nicht zu einer Änderung der optimalen Maßnahme. Dies ist ein entscheidender Unterschied der hier angesetzten 'diskreten' Minderungsmöglichkeiten gegenüber den üblicherweise verwendeten stetigen Kostenkurven der Minderung.
- Alternativ zur Schadstoffminderung durch Primär- und Sekundärmaßnahmen läßt sich i. a. eine Auflage auch durch Brennstoffsubstitution (etwa zu leichtem Heizöl, Flüssiggas, Erdgas) erfüllen. Hier überwiegen oft die variablen Kosten. Gerade bei niedriger Auslastung lassen sich dadurch die Kosten der Auflagenerfüllung begrenzen, da die Durchführung von Maßnahmen mit hohen Investitionen nicht mehr erforderlich ist.

Bei der Abgabe treten die bei der Auflage angeführten Hemmnisse nicht auf. Dagegen ist aber unsicher, ob die einzelnen Emittenten die für sie unter Einrechnung der Abgabe betriebswirtschaftlich sinnvollen Maßnahmen auch durchführen.

Mögliche Hemmnisse, die die Einführung der optimalen Maßnahmen behindern, sind z. B.: fehlende oder ungenaue Kenntnisse der Emittenten über die möglichen Maßnahmen und deren Kosten, Hinausschieben von Entscheidungen besonders im Hinblick auf die in vielen Branchen recht geringen Anteile etwaiger Abgaben an den gesamten Kosten, Probleme mit der Reststoffbeseitigung, fehlende Investitionsmittel oder effizientere Verwendungsmöglichkeiten vorhandener Mittel in anderen Bereichen, Befürchtung der Einschränkung der Flexibilität durch Kapitalbindung für Rückhaltetechniken und besonders in der Industrie geforderte kurze pay-back bzw. Abschreibungszeiten. Zudem kann die Möglichkeit, daß der Abgabensatz geändert werden kann, Entscheidungen beeinflussen. Diese Hemmnisse führen tendenziell dazu, daß die Emittenten kapitalintensive Minderungstechniken in zu geringem Umfang einführen und stattdessen lieber die Abgabe zahlen oder Brennstoffsubstitutionen bevorzugen.

Bei den Zertifikaten gelten die gleichen Hemmnisse wie bei den Abgaben. Dazu kommt jedoch noch die Unsicherheit der einzelnen Entscheidungsträger über die Höhe der Zertifikatpreise. Diese hängen von den Dispositionen der anderen Entscheidungsträger ab. Führt ein Emittent zu geringe Minderungsmaßnahmen durch, so führt dies dazu, daß andere Emittenten zum Ausgleich Maßnahmen mit zu hohen Grenzkosten durchführen müssen. Das umweltpolitische Ziel liegt aber gerade nicht im Erreichen eines fixen Emissionsniveaus, sondern in der Minimierung der Summe aus Schäden und Minderungskosten. Da das nicht optimale Verhalten eines Emittenten automatisch zu nicht optimalen Maßnahmen bei anderen Emittenten führt, ist die statische Zielerreichung bei Zertifikaten i. a. geringer als bei Abgaben. Darüberhinaus können auch die bei den Auflagen als Hemmnis genannten nicht genau bekannten Retrofitkosten zu überhöhten Zertifikatpreisen führen.

Als zweites Kriterium soll die Anpassungsfähigkeit der Instrumente an veränderte Rahmenbedingungen untersucht werden. Solche veränderte Rahmenbedingungen können sein:

Änderung der Höhe der Umweltschäden, Inflation, Produktionssenkung oder -erhöhung bzw. Zubau oder Wegfall von Industrieanlagen und verbesserte Minderungstechniken.

Änderungen der zu berücksichtigenden Höhe der Umweltschäden, etwa infolge neuer Erkenntnisse über die Schädlichkeit von Stoffen, durch Wertewandel der Gesellschaft, oder auch durch die Entwicklung von Maßnahmen zur Schadensbegrenzung oder -verminderung führen zu veränderten Schadenskosten. Dies wird bei keinem der Instrumente automatisch berücksichtigt, sodaß immer Anpassungen erforderlich sind.



Die Inflation wird von Auflagen und Zertifikaten automatisch berücksichtigt, bei Abgaben sollte eine automatische Anpassung der Abgabenhöhe an einen Preisindex erfolgen.

Gravierender sind die Unterschiede der Instrumente bei den folgenden beiden Punkten.

Produktionserweiterungen oder Neuansiedlungen bzw. Wegfall von Emittenten führen bei Auflagen und Abgaben zu entsprechend höheren oder niedrigeren Emissionsniveaus; bei linearer Schadensfunktion ist eine Anpassung nicht erforderlich, zusätzliche Verschlechterungen der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten ergeben sich nicht. Bei konvexer Schadensfunktion und erheblichen Emissionsänderungen ändert sich der Grenzscha- den, daher kann dann eine Anpassung erforderlich werden.

Problematischer sieht es aber bei Zertifikaten aus - bei Neuansiedlungen und Produktionssteigerungen kommt es zu erhöhter Nachfrage und damit zu einem Anwachsen der Zertifikatspreise über die postulierten Grenzscha- den hinaus. Wegen der z. T. langen Dauer der Realisierung von Umweltschutzmaßnahmen sind Zertifikate zudem meist auf dem Markt nur mit Zeitverzögerung verfügbar. Abgesehen davon sind viele Emittenten erst dann in der Lage, verstärkte Emissionsminderungsmaßnahmen durchzuführen, wenn die vorhandenen Rückhaltetechniken abgeschrieben bzw. am Ende ihrer Lebensdauer angelangt sind. Zudem besteht die Gefahr, daß ein Kartell von Altemittenten den Zuzug neuer Wettbewerber verhindern könnte.

Bei Stilllegung eines Großemittenten kommt es zunächst zu einem rapiden Absinken der Zertifikatspreise, da die anderen Emittenten ihre Investitionen für den Umweltschutz ja nicht rückgängig machen können und somit bei einem Zurückfahren ihrer Anlagen nur die variablen Kosten einsparen. Dies führt andererseits dazu, daß Neuemittenten oder Emittenten, die aufgrund der Möglichkeit des Einsatzes unterschiedlicher Brennstoffe flexibel sind, relativ preiswert Zertifikate einkaufen und daher ihre Anlagen ohne an sich wünschenswerte Minderungstechniken betreiben.

Zwar kann man diese Nachteile z. T. ausgleichen, etwa durch Ausgabe von Zusatzzertifikaten an Neuemittenten; dadurch wird aber das Grundprinzip der Zertifikatlösung und dessen Vorteile mehr und mehr aufgeweicht. Zudem bleibt als Hauptnachteil bestehen, daß die Schwankungen und Unwägbarkeiten bei Angebot und Nachfrage zu Schwankungen des Zertifikatspreises führen, die das Erreichen einer optimalen Lösung behindern.

Technischer Fortschritt bei der Schadstoffminderung - hier definiert durch eine neue oder verbesserte Maßnahme mit den Eigenschaften  $(EM_{i,n}/K_{i,n})$  - führt dann zu einer Änderung der optimalen Minderungsstrategie, wenn

$$K_{i,n} < \beta (EM_{i,n} - EM_{i,o}) + K_{i,o},$$

wobei  $(EM_{i,o}/K_{i,o})$  die bisher optimale Maßnahme für den Emittenten  $i$  bezeichnet. Die obige Formel gilt bei linearem Schadensverlauf exakt, sonst näherungsweise.

Aus obiger Gleichung folgt, daß durch eine Abgabe eine optimale Anpassung an fortgeschrittene Techniken automatisch erfolgt. Bei der Auflage erfolgt nur dann eine optimale Anpassung, wenn der geforderte Standard mit geringeren Kosten als vorher erreicht wird. Höhere Emissionsminderungen ergeben sich i.a. nur, wenn der Standard "entsprechend dem Stand der Technik" neu festgesetzt wird. Geringfügig niedrigere Emissionsminderungen sind - auch wenn mit hohen Kostenersparnissen verbunden - nicht möglich.

Bei Zertifikaten bleiben die Emissionen auf ihrem Niveau. Die Einführung einer fortgeschrittenen Minderungstechnologie führt daher zu einer Änderung des Zertifikatspreises. Erhöhen etwa Emittenten unter dem Eindruck der geltenden Zertifi-



katspreise ihre Emissionsminderung mit einer neuen Technik und verkaufen anschließend die jetzt überflüssigen Zertifikate, so sinken die Zertifikatspreise, bis einige andere Emittenten zu entsprechenden Mehremissionen und damit zum Marktausgleich veranlaßt werden. Da der Änderung des Zertifikatspreises aber keine entsprechenden Änderungen des Grenzschatens der Emissionen gegenüberstehen, führt dies zu Abweichungen vom Optimum.

Immerhin führt die Umsetzung von technischem Fortschritt bei allen Instrumenten zu einer mehr oder weniger großen Verbesserung der Wohlfahrt. Daher soll als drittes Kriterium untersucht werden, inwieweit von dem Einsatz der Instrumente selbst ein Anreiz zur Verbesserung des Standes der Technik ausgeht.

Auch hier weist die Abgabe wiederum die beste Zielerfüllung auf, da jeder Emittent eine Verringerung seiner Gesamtkosten (Minderungskosten und Abgabe) anstrebt.

Bei den Zertifikaten wird der Anreiz dadurch gemindert, daß die freiwerdenden Zertifikate nur zu einem niedrigeren Preis als vor der Einführung der verbesserten Technik verkauft werden können - ein Teil des Vorteils wird dadurch an die Käufer der Zertifikate transferiert.

Bei Auflagen haben die Emittenten kein Interesse, die Grenzwerte der Auflage zu verschärfen. Dennoch sind auch bei Auflagen durchaus Anreize zur Verbesserung des technischen Fortschritts vorhanden. Zum einen zielen diese auf eine Kostensenkung bei der Erfüllung des Emissionsstandards. Daneben besteht für Firmen, die Umweltschutztechnik anbieten, ein Anreiz, verbesserte Minderungstechniken zu entwickeln, die dann aufgrund der Dynamisierungsklauseln Grundlage für verschärfte Grenzwerte werden können. Außerdem hat der Staat selbst durch die Vergabe von Mitteln für Forschung, Entwicklung und Demonstration die Möglichkeit, den Mangel geringerer Anreizwirkung von Auflagen auszugleichen.

Als letztes Beurteilungskriterium soll noch auf die Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit des verarbeitenden Gewerbes eingegangen werden. Ein nicht zu unterschätzender Nachteil von Abgaben (und von Zertifikaten, soweit sie zu Beginn nicht kostenfrei abgegeben werden) ist die zusätzliche Kostenbelastung der Industrie (zugunsten des Staatshaushaltes), da ja neben den Kosten für die Minderungsmaßnahmen noch die Abgabe (bzw. die Zertifikate) für die Restemissionen zu zahlen sind. Dies führt zu Wettbewerbsnachteilen gegenüber Ländern ohne Abgaben, woraus schon die Forderung resultiert, die Umweltschutzpolitik möglichst EG-weit einheitlich zu gestalten.

Um die Preis-, Produktions- und Beschäftigungseffekte des Einsatzes der verschiedenen Instrumente quantitativ bestimmen zu können, wird eine für das Jahr 2000 abgeschätzte Input- Output- Tabelle für Baden-Württemberg mit 16 Sektoren verwendet. Führt man etwa -ausgehend vom Referenzfall, der bereits die aufgrund der GFVo und der TA Luft vorgesehenen Maßnahmen enthält, - weitere Maßnahmen bis zu Grenzkosten von 10 DM/kg durch, entstehen zusätzlich Kosten von ca. 130 Mio. DM/a. Diese führen zu direkten und indirekten Mehrkosten pro Branche - bezogen auf den Bruttoproduktionswert - von durchschnittlich 0,02 %, maximal 0,3% (bei Druck und Papier). Die Einführung einer Abgabe von 10 DM/kg SO<sub>2</sub> führt zu Mehrkosten von durchschnittlich 0,1%, maximal ca. 1% (Glas, Steine und Erden). Einzelne Firmen können im Einzelfall noch stärker belastet werden wie der Branchendurchschnitt. Gleicht der Staat die Mehreinnahmen durch Steuersenkungen oder Subventionen nicht aus, werden im öffentlichen Bereich ca. 2000 neue Arbeitsplätze geschaffen, denen aber Arbeitsplatzrückgänge in etwas geringerem Umfang in anderen Bereichen (z.B. bei der Verbrauchsgüterproduktion) gegenüberstehen.

Dabei sind die Auswirkungen höherer Preise auf die Nachfrage, nicht aber durch Wettbewerbsnachteile bedingte Verlagerungen von Arbeitsplätzen in das Ausland berücksichtigt, da letztere sich wohl kaum ausreichend genau quantifizieren lassen.



#### 4 Schlußfolgerungen:

Aus dem Gesagten läßt sich folgendes ableiten:

- 1) Alle untersuchten Instrumente der Umweltpolitik müssen aufgrund der Ihrer Anwendung zugrundeliegenden Annahmen durch Maßnahmen zur Begrenzung der Immissionen ergänzt werden.
- 2) Für eine optimale Emissionsminderungsstrategie kommen nur eine begrenzte Zahl von Einzelmaßnahmen pro Emittent in Betracht, insbesondere ist die vollständige Nutzung einer Technik für einen Emittenten einer Teilnutzung (z.B. Teilentschwefelung) vorzuziehen. Die begrenzte Maßnahmenzahl ermöglicht die exakte Ermittlung optimaler Minderungsstrategien mit einem relativ einfachen Optimierungsalgorithmus auch für eine große Zahl von Emittenten.
- 3) Zertifikate sind sowohl aus theoretischen als auch aus praktischen Gründen ungünstiger zu beurteilen wie Abgaben. Die Einführung von Zertifikaten ist daher nicht empfehlenswert.
- 4) Abgaben sind in einigen Punkten, etwa der Induzierung technischen Fortschritts auf dem Gebiet der Luftreinhaltung oder der Anpassung an geänderte Rahmenbedingungen günstiger als Auflagen zu beurteilen. Die Unterschiede in der statischen Zielerreichung sind jedoch geringer als oft behauptet, insbesondere, wenn die Auflagen genügend differenziert festgelegt werden. Ob sich der Aufwand einer Umstellung bestehender Auflagen auf Abgaben lohnt, bleibt daher offen und ist im Einzelfall zu prüfen. Im allgemeinen sollten Abgaben eher zur Ergänzung von bestehenden Auflagen eingesetzt werden, um dynamische Verbesserungen hervorzurufen, und zwar insbesondere dort, wo aus Vorsorgegründen ein weiteres Absinken des Emissionsniveaus über das durch die Auflagenpolitik erreichte hinaus wünschenswert erscheint. Dabei ist zu prüfen, inwieweit die Wettbewerbsfähigkeit der industriellen Emittenten gefährdet ist bzw. durch flankierende Maßnahmen gestützt werden muß.

#### 5 Literatur

- /1/ Friedrich, R.; Boysen, B.; Fahl, U.; Mattis, M.; Voß, A.: Untersuchung von umweltpolitischen Instrumenten zur Luftreinhaltung, 1989, in Vorbereitung
- /2/ Siebert, H.: Ökonomische Theorie der Umwelt, Tübingen 1978
- /3/ Baumol, W.J.; Oates, W.E.: The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment, Swedish Journal of Economics 73(1971) S. 42-54
- /4/ Siebert, H.: Analyse der Instrumente der Umweltpolitik, Göttingen 1976
- /5/ Endres, A.: Umwelt- und Ressourcenökonomie, Darmstadt 1985
- /6/ Boysen, B.; Friedrich, R.; Mattis, M.; Voß, A.: Kosten-Effektivitätsanalyse von Maßnahmen zur Minderung von SO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen unter besonderer Berücksichtigung regionaler Aspekte, PEF-Statuskolloquium Karlsruhe, März 1989