



Institut für Volkswirtschaftslehre

Universität Augsburg

Volkswirtschaftliche Diskussionsreihe

**Zum Innovationsanreiz
umweltpolitischer Instrumente:
Rehabilitierung der Auflagenpolitik?**

Peter Michaelis

Beitrag Nr. 259, Februar 2004

Peter Michaelis*

Zum Innovationsanreiz umweltpolitischer Instrumente: Rehabilitierung der Auflagenpolitik?

Februar 2004

Zusammenfassung. Die vergleichende Analyse umweltpolitischer Instrumente kommt regelmäßig zu dem Ergebnis, dass Emissionsabgaben einen höheren Innovationsanreiz auslösen als Emissionsauflagen. Demgegenüber weisen neuere Studien der empirischen Innovationsforschung auf keine eindeutige Rangfolge zwischen den verschiedenen umweltpolitischen Instrumenten hin. Im vorliegenden Beitrag wird eine mögliche Ursache für diese Diskrepanz aufgezeigt. Zunächst wird gezeigt, dass das in der Literatur zum Beleg der vermeintlich stärkeren Innovationswirkung von Abgabenlösungen regelmäßig heran gezogene Modell zwei Schwächen ausweist: Es vernachlässigt Rückwirkungen des Instrumenteinsatzes auf das Outputniveau der Unternehmen und es geht von einer unrealistischen Modellierung der Auflagenpolitik aus. Anschließend wird ein erweitertes Modell entworfen, das diese Schwächen überwindet. Anhand dieses Modells wird gezeigt, dass der Innovationsanreiz der verschiedenen umweltpolitischen Instrumente sowohl von der Reichweite der betreffenden Innovation als auch von der Kostenstruktur des betrachteten Unternehmens abhängt und damit keine generelle Rangfolge zwischen den Instrumenten abgeleitet werden kann. Eine Diskussion der hieraus für den umweltpolitischen Instrumentenvergleich zu ziehenden Schlussfolgerungen beendet den vorliegenden Beitrag.

Abstract. Standard analysis of the economics of environmental policy usually claims that emissions taxes induce a stronger incentive for an improvement in pollution abatement technologies than emission standards. In contrast, recent empirical studies within this field reveal that there is no systematic relationship between improvements in pollution abatement technologies and the policy instrument chosen. The present paper tries to clarify this contradiction. In the first step the paper shows that the standard model of innovation in pollution control under different policy regimes is deficient in at least two ways: It neglects policy impacts on the firms' output level and it assumes a fairly unrealistic type of emission standard. In the second step the paper presents a model which tries to overcome these shortcomings. Using this model it is shown that the impact on innovation in pollution control caused by taxes and standards strongly depends on the scale of technical progress as well as on the cost structure of the firm under consideration such that there is no unique ranking of the two policies. Finally, the paper discusses the policy implications of these findings.

Keywords: Emission Standards, Emission Taxes, Incentives to Innovate

JEL Classification: H23, Q55

* Prof. Dr. Peter Michaelis, Universität Augsburg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Mitglied im Sachverständigenrat für Umweltfragen. Universitätsstr. 16, D-86159 Augsburg, Telefon: 0821/598 4057 Fax: 0821/598 4217, e-mail: peter.michaelis@wiwi.uni-augsburg.de.

1 Einleitung¹

Die vergleichende ökonomische Analyse umweltpolitischer Instrumente kommt regelmäßig zu dem Ergebnis, dass ökonomische Anreizmechanismen im Sinne von Emissionsabgaben und handelbaren Emissionsrechten aufgrund der Kostenbelastung auf die Restemissionen einen höheren Innovationsanreiz auslösen als ordnungsrechtliche Maßnahmen, bei denen die Emissionen im Rahmen der gesetzlichen Grenzwerte kostenlos an die Umwelt abgegeben werden dürfen.² Neben der Effizienzeigenschaft von Abgaben wird dieses innovationsfördernde Potenzial im umweltpolitischen Instrumentenvergleich regelmäßig als ein zweiter Vorteil der Abgabepolitik gegenüber Emissionsauflagen hervorgehoben. Im Gegensatz dazu kommen jedoch neuere Studien der empirischen Innovationsforschung zu dem Ergebnis, dass sich bezüglich des ausgelösten Innovationsanreizes keine eindeutige Rangfolge zwischen den verschiedenen umweltpolitischen Instrumenten feststellen lässt (z.B. Hemmelskamp, 2000). Im vorliegenden Beitrag wird eine mögliche Ursache für diese Diskrepanz zwischen Theorie und empirischen Ergebnissen aufgezeigt. In Abschnitt 2 wird zunächst das in der Literatur regelmäßig zum Beleg der vermeintlich stärkeren Innovationswirkung von Abgabenlösungen heran gezogene Modell kritisch betrachtet. Dabei zeigt sich, dass dieses „Standardmodell“ zwei entscheidende Schwächen aufweist, die zu verzerrten Resultaten führen. In Anschluss daran wird in Abschnitt 3 ein erweitertes Modell entworfen, das diese Schwächen überwindet. Anhand dieses Modells wird gezeigt, dass der Innovationsanreiz der verschiedenen umweltpolitischen Instrumente von den Spezifika des jeweils betrachteten Falles abhängig ist, und damit keine allgemeingültigen Aussagen abgeleitet werden können, welches der Instrumente den stärkeren Innovationsanreiz auslöst. Abschnitt 4 beendet den vorliegenden Beitrag mit einigen Schlussfolgerungen für den umweltpolitischen Instrumentenvergleich.

2 Innovationsanreize im Standardmodell

Das Standardmodell zur Analyse des Innovationsanreizes umweltpolitischer Instrumente geht ursprünglich auf Wenders (1975) zurück und wurde in der Folgezeit von zahlreichen Autoren aufgegriffen und zum Teil weiterentwickelt bzw. auf weitere Fragestellungen angewendet (vgl. z.B. Downing/White, 1986; Milliman/Prince, 1989), wobei jedoch die Grundstruktur des Modells im Wesentlichen unverändert blieb.

2.1 Modellannahmen und Ergebnisse

Ausgangspunkt der Betrachtung ist ein Unternehmen, dessen Emissionen als E bezeichnet seien (vgl. Abbildung 1). Die Kosten der Emissionsvermeidung *vor Innovation* seien durch die Grenzvermeidungskostenkurve $K'_1(E)$ dargestellt. Zielsetzung der umweltpoliti-

¹ Der Verfasser dankt Herrn Jürgen Dietz (Universität Augsburg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät) für wertvolle Anregungen und Hinweise.

² Vgl. insbesondere z.B. Milliman/Prince (1989) und die dort angegebene Literatur. Ein differenziertere Analyse, die gleichwohl konzeptionell zu kurz greift, weil auch sie die Rückwirkungen der Umweltpolitik auf das Outputniveau vernachlässigt (vgl. hierzu Abschnitt 2.2), findet sich bei Endres (2000, S. 163ff). Eine ebenfalls differenzierte Analyse nimmt Requate (1998) vor, diese Arbeit konzentriert sich jedoch auf dynamische Wohlfahrtsaspekte im Vergleich zwischen Abgaben und handelbaren Emissionsrechten.

schen Regulierung ist es, den Emittenten zu veranlassen, die Emissionen ausgehend von dem unregulierten Niveau E_0 auf ein Zielniveau $E_1 < E_0$ zu senken. Dazu wird im Auflagenfall unmittelbar der Grenzwert E_1 festgelegt, während im Abgabefall eine Emissionsabgabe in Höhe von t_1 fixiert wird. Die resultierenden Vermeidungskosten entsprechen dann in Abbildung 1 der Fläche E_1E_0A , wobei das Unternehmen im Abgabefall zusätzlich die Abgabenbelastung auf die Restemission in Höhe der Fläche $0E_1At_1$ zu tragen hat. *Nach* Innovation ergibt sich die neue Grenzvermeidungskostenkurve $K'_2(E)$. Bei unverändertem umweltpolitischen Instrumenteneinsatz betragen die Vermeidungskosten im Auflagenfall E_1E_0C , woraus sich eine Kosteneinsparung in Höhe der Fläche CE_0A ergibt. Im Abgabefall reduzieren sich bei gegebenem Abgabensatz t_1 die kostenminimalen Emissionen auf E_2 . Es ergeben sich folglich Vermeidungskosten in Höhe von E_2E_0B sowie eine Abgabenbelastung von $0E_2Bt_1$. Verglichen mit der Situation vor Innovation resultiert hier eine Kosteneinsparung in Höhe der Fläche BE_0A . Ein Vergleich der unter beiden umweltpolitischen Instrumenten durch Innovation erzielbaren Kosteneinsparung zeigt, dass diese im Abgabefall höher ist als im Auflagenfall, so dass eine Emissionsabgabe – nach der Logik des dargestellten Modells – einen entsprechend stärkeren Innovationsanreiz verursacht.³

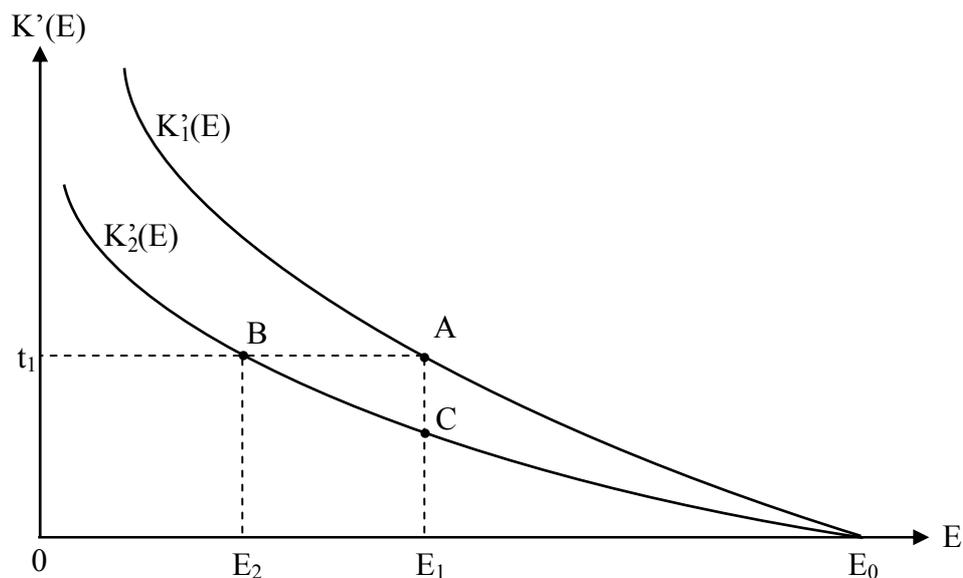


Abbildung 1: Innovationsanreize im Standardmodell.

2.2 Kritik

Das oben dargestellte Standardmodell ist aus – mindestens – zwei Gründen wenig geeignet, ein realistisches Bild des Innovationsanreizes umweltpolitischer Instrumente zu zeichnen. Der erste und aus ökonomischer Sicht fundamentalere Kritikpunkt bezieht sich darauf, dass das dargestellte Modell die Rückwirkungen des umweltpolitischen Instrumenteneinsatzes auf Output und Gewinn des betrachteten Unternehmens ausblendet. Denn die zugrunde gelegten Kos-

³ Gegen dieses Ergebnis ließe sich einwenden, dass die regulierende Behörde im Abgabefall auf das sinkende Emissionsniveau mit einer Anpassung des umweltpolitischen Instrumenteneinsatzes reagieren könnte. Eine solche Anpassung würde jedoch eine *Senkung* des Abgabensatzes implizieren, so dass die Überlegenheit der Abgabelösung in Bezug auf den Innovationsanreiz in diesem Fall noch verstärkt würde.

tenkurven spiegeln lediglich, wie auch von Wenders (1975, S.393) konzediert, die unmittelbaren Kosten der Emissionsvermeidung durch dem Produktionsprozess nachgeschaltete „end of pipe“-Maßnahmen wie Filteranlagen etc. wider. Unberücksichtigt bleibt jedoch, dass die umweltpolitische Regulierung die Kostenstruktur des Unternehmens beeinflusst und damit Rückwirkungen auf das Outputniveau hat. Die tatsächlichen Vermeidungskosten aus einzelwirtschaftlicher Sicht sind deshalb nicht nur die unmittelbaren Kosten für „end of pipe“-Maßnahmen, sondern der resultierende Gewinnrückgang insgesamt. Wollte man dieses breitere Kostenkonzept in einer zu Abbildung 1 analogen Graphik darstellen, so ergäbe sich bei Anwendung von Emissionsauflagen ein anderer Verlauf der Kostenkurven als bei Emissionsabgaben, denn in beiden Fällen resultieren unterschiedliche Output- und Gewinnniveaus.

Der zweite Kritikpunkt bezieht sich auf die Modellierung der Auflagenpolitik. Die in der obigen Analyse angenommene Emissionsauflage entspricht dem Typus einer *absoluten Emissionsauflage*, bei der dem Emittenten die maximal zulässige Schadstofffracht – etwa in der Dimension Tonnen pro Jahr – vorgegeben wird. Absolute Emissionsauflagen stellen zwar den Prototyp der in der umweltökonomischen Instrumentenanalyse untersuchten Auflagenpolitik dar (vgl. z.B. Endres, 2000, S.123), sie sind jedoch dem faktisch geltenden Umweltrecht weitgehend fremd. In der Praxis werden Emissionsauflagen regelmäßig als *relative Auflagen* formuliert, wobei die maximal zulässige Schadstoffkonzentration in dem betreffenden Trägermedium (Abluft bzw. Abwasser) vorgegeben wird.⁴ Diese Vorgehensweise ist aus pragmatischen Gründen auch sinnvoll, denn relative Emissionsauflagen können für große Gruppen von Emittenten einheitlich normiert werden, während absolute Emissionsauflagen nach Unternehmensgröße oder anderen geeigneten Merkmalen differenziert werden müssten. Eine solche Differenzierung wäre jedoch in der Praxis mit einem erheblichen Informationsbedarf verbunden und würde auf der politischen Ebene zu langwierigen Verhandlungsprozessen führen.⁵

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Standardmodell zur Analyse der Innovationswirkungen umweltpolitischer Instrumente nicht nur von einem unzureichenden Vermeidungskostenbegriff ausgeht, sondern auch auf einer unrealistischen Modellierung der Auflagenpolitik basiert. Im folgenden Abschnitt wird ein erweiterter Modellansatz entworfen, der diese Schwächen überwindet. Im Rahmen dieses Modellansatzes werden dann Emissionsauflagen und -abgaben einem erneuten Vergleich in Bezug auf ihren Innovationsanreiz unterzogen.⁶

3 Innovationsanreize in einem erweiterten Modell

3.1 Modellannahmen

Betrachtet wird ein Unternehmen, dessen Emissionen nur einen geringen Bruchteil zu den Gesamtemissionen des in Frage stehenden Schadstoffes beitragen. Der Output des Unterneh-

⁴ Am Rande sei bemerkt, dass bei relativen Emissionsauflagen die emittierte Schadstoffmenge auch vom Outputniveau des betrachteten Unternehmens abhängt, so dass der Vorteil der „ökologischen Treffsicherheit“, der dem Auflageninstrumentarium zuweilen zugeschrieben wird, verloren geht (z.B. Endres, 2000, S.171).

⁵ Als Beispiel hierfür sei auf die gegenwärtigen Schwierigkeiten hingewiesen, den so genannten „nationalen Allokationsplan“ für den Handel mit Treibhausgasen nach der EU-Richtlinie RL 2003/87/EG festzulegen.

⁶ Eine separate Analyse handelbarer Emissionsrechte erübrigt sich, denn hierbei resultieren im Rahmen des folgenden Modells im Wesentlichen die gleichen Wirkungsmechanismen wie bei einer Abgabe.

mens sei mit y bezeichnet, der als konstant angenommene Marktpreis mit p . Die Produktionskosten seien durch eine Kostenfunktion $c(y)$ mit steigenden Grenzkosten gegeben. Im Produktionsprozess entstehen pro Outputeinheit $\varepsilon > 0$ Emissionseinheiten. Diese Emissionen können durch eine dem Produktionsprozess nachgeschaltete „end of pipe“-Technologie eliminiert werden. Die auf diese Weise vermiedenen Emissionen seien mit v bezeichnet, so dass die letztlich an die Umwelt abgegebenen Emissionen $e = \varepsilon y - v$ betragen. Die Kosten der Emissionsvermeidung durch die „end of pipe“-Technologie seien durch eine Kostenfunktion $k(v)$ mit ebenfalls steigenden Grenzkosten gegeben.

Staatliche Umweltpolitik kann über eine Emissionsauflage oder eine -abgabe erfolgen: Im Abgabefall fixiert die regulierende Behörde einen Abgabesatz t , der pro emittierter Schadstoffeinheit zu entrichten ist. Im Auflagenfall fixiert die regulierende Behörde die maximal zulässige Schadstoffkonzentration im Trägermedium Abluft bzw. Abwasser. Unter der Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen dem Massenstrom des Trägermediums und dem Outputniveau entspricht diese Vorgehensweise der Vorgabe einer maximal zulässigen Emissionsmenge pro Outputeinheit. Diese sei mit $\bar{\varepsilon}$ bezeichnet, wobei $\bar{\varepsilon} < \varepsilon$ gilt. Die durch „end of pipe“-Maßnahmen zu vermeidende Schadstoffmenge beträgt dann $v = y(\varepsilon - \bar{\varepsilon})$.

3.2 Optimalbedingungen

Das in Abschnitt 2.1 dargestellte Modell geht implizit von einem konstanten (und für beide Instrumente gleichen) Outputniveau aus, so dass eine Emissionsminderung nur durch „end of pipe“-Maßnahmen möglich ist. Demgegenüber besteht im vorliegenden Modell auch die Möglichkeit, die Emissionen durch eine Reduzierung des Outputniveaus zu senken. Es stehen damit *zwei Vermeidungsoptionen* zur Verfügung, die aufeinander abgestimmt werden müssen. Dies schlägt sich auch in den im Folgenden abzuleitenden Optimalbedingungen nieder.

Im Auflagenfall maximiert das Unternehmen den Gewinn $\pi = py - c(y) - k(v)$ unter der Nebenbedingung $v = y(\varepsilon - \bar{\varepsilon})$. Dieses Maximierungsproblem führt zu der Optimalbedingung

$$[1] \quad p = \frac{\partial c(y)}{\partial y} + (\varepsilon - \bar{\varepsilon}) \frac{\partial k(v)}{\partial v}.$$

Dies ist die übliche Bedingung „Preis=Grenzkosten“ wobei jedoch neben den direkten Grenzkosten der Produktion auch die Grenzkosten der Emissionsvermeidung zu berücksichtigen sind: Bei Ausdehnung der Produktion um eine Einheit entstehen $(\varepsilon - \bar{\varepsilon})$ zusätzlich zu vermeidende Emissionen, die zusätzliche Vermeidungskosten in Höhe von $(\varepsilon - \bar{\varepsilon})[\partial k(v)/\partial v]$ verursachen. Eine Alternative Interpretation von [1] ergibt sich durch eine geringfügige Umformung:

$$[1'] \quad \frac{1}{(\varepsilon - \bar{\varepsilon})} \left[p - \frac{\partial c(y)}{\partial y} \right] = \frac{\partial k(v)}{\partial v}.$$

Die rechte Seite von [1'] entspricht den Grenzkosten der Emissionsvermeidung durch „end of pipe“-Behandlung. Die linke Seite von [1'] entspricht den Grenzkosten der Emissionsvermeidung durch Outputreduzierung: Zur Reduzierung der Emissionen um eine Einheit ist der Output um $1/(\varepsilon - \bar{\varepsilon})$ Einheiten zu senken, wodurch der Gewinn um $(1/(\varepsilon - \bar{\varepsilon})) [p - \partial c(y)/\partial y]$ vermin-

dert wird. Bedingung [1'] fordert mithin, die beiden in Betracht kommenden Vermeidungsoptionen so miteinander zu kombinieren, dass ihre Grenzkosten aneinander angeglichen werden.

Im Abgabefall lautet die Gewinnfunktion $\pi = py - c(y) - k(v) - t(\varepsilon y - v)$, wobei der zusätzliche Term $t(\varepsilon y - v)$ die Abgabenlast auf die verbleibenden Restemissionen darstellt. Die Maximierung dieser Gewinnfunktion führt zu folgender Optimalbedingung:

$$[2] \quad \frac{1}{\varepsilon} \left[p - \frac{\partial c(y)}{\partial y} \right] = t = \frac{\partial k(v)}{\partial v}.$$

Dies entspricht im Kern der bekannten Optimalbedingung „Grenzvermeidungskosten = Abgabesatz“, wobei nun jedoch gilt, dass die Grenzvermeidungskosten für *beide* Vermeidungsoptionen – Outputreduzierung und „end of pipe“-Behandlung – mit dem Abgabesatz in Übereinstimmung gebracht werden müssen.⁷

Im Modell aus Abschnitt 2.1 wurde der Innovationsanreiz gemessen anhand der resultierenden Kostensenkung in der „end of pipe“-Behandlung sowie der im Abgabefall erzielbaren Minderung der Abgabenlast. Im Rahmen des vorliegenden Modells würde diese Messgröße zu kurz greifen, denn sie lässt, wie oben bereits erläutert, die entsprechenden Rückwirkungen auf das Outputniveau unberücksichtigt. Um auch diesen Effekt zu erfassen, ist es erforderlich, die Gewinnsituation des Unternehmens *vor* und *nach* Innovation zu betrachten. Da die im Innovationsfall eintretende Gewinnsteigerung jedoch abhängig von der konkreten Kostenstruktur des betrachteten Unternehmens ist, lassen sich auf Basis allgemeiner Kostenfunktionen keine eindeutigen Aussagen mehr ableiten. Deshalb werden im Folgenden quadratische Kostenfunktionen $c(y) = c \cdot y^2$ mit $c > 0$ und $k(v) = k \cdot v^2$ mit $k > 0$ zugrunde gelegt. Die hiermit einhergehende Einschränkung der Allgemeinheit ist insoweit unproblematisch, als die *primäre* Zielsetzung der folgenden Analyse darin besteht, aufzuzeigen, dass es im Rahmen einer realistischeren Modellierung im Gegensatz zum Standardmodell aus Abschnitt 2.1 nicht mehr möglich ist, generalisierende Aussagen über eine Rangfolge der Instrumente bezüglich ihres Innovationsanreizes abzuleiten. Auf Basis der genannten Kostenfunktionen lassen sich für den Fall der Auflagenpolitik Outputniveau, Emissionen und Gewinn des betrachteten Unternehmens *vor* Innovation wie folgt bestimmen:

$$[3] \quad y_a = \frac{p}{2[c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]} \quad [4] \quad e_a = \frac{\bar{\varepsilon}p}{2[c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]} \quad [5] \quad \pi_a = \frac{p^2}{4[c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]}.$$

Analog ergibt sich für den Fall der Abgabenpolitik *vor* Innovation:

$$[6] \quad y_t = \frac{p - \varepsilon t}{2c} \quad [7] \quad e_t = \frac{\varepsilon k(p - \varepsilon t) - ct}{2ck} \quad [8] \quad \pi_t = \frac{k(p - \varepsilon t)^2 + ct^2}{4ck}.$$

3.3 Innovationsanreize

Im Rahmen des vorliegenden Modells lassen sich prinzipiell zwei verschiedene Arten umwelttechnischen Fortschritts abbilden: Technischer Fortschritt im Sinne einer Senkung der

⁷ Zu dieser kostenminimierenden Kombination von technischer und mengenmäßiger Anpassung im Abgabefall vgl. auch Cansier (1996, S.161ff).

Vermeidungskosten im „end of pipe“-Bereich und technischer Fortschritt im Produktionsprozess selbst, der im Sinne so genannter „integrierter Umweltschutztechnologien“ (z.B. Zimmermann, 1988) zu einer Verminderung des Emissionskoeffizienten ε führt. Die folgende Analyse des Innovationsanreizes umweltpolitischer Instrumente beschränkt sich auf diesen zweiten Fall. Denn „end of pipe“-Technologien gelten – nicht zuletzt aufgrund ihres hohen Standardisierungsgrades – als weitgehend ausgereift, so dass hier nur noch geringfügige Fortschritte zu erwarten sind (so bereits SRU, 1994, S. 131f).⁸ Hinzu kommt, dass bei der Entsorgung durch „end of pipe“-Verfahren in der Regel nur eine Problemverlagerung zwischen den Umweltmedien Wasser, Luft und Boden stattfindet (Zimmermann, 1988). Aus diesem Grund ist auch aus umweltpolitischer Sicht technischer Fortschritt, der zu einer Schadstoffvermeidung im Produktionsprozess und damit an der Entstehungsquelle selbst führt, gegenüber einer weiteren Optimierung nachgeschalteter „end of pipe“-Technologien vorzuziehen.

Bei der folgenden Analyse ist zu unterscheiden zwischen *marginalem* und *nicht-marginalem* technischen Fortschritt. Marginaler technischer Fortschritt – im Sinne einer „kleinen“ Senkung des Emissionskoeffizienten ε – stellt den Fall einer graduellen, in kleinen Schritten erfolgenden Verbesserung der betrachteten Technologie dar. Demgegenüber repräsentiert nicht-marginaler technischer Fortschritt – im Sinne einer „großen“ Senkung von ε – den Fall eines „technologischen Sprunges“. Insbesondere in Hinblick auf diesen zweiten Fall ist ein z.B. von Milliman/ Prince (1998) hervorgehobener Rückkoppelungseffekt nicht auszuschließen: Falls sich die Innovation mittelfristig durch einen Diffusionsprozess ausbreitet, muss das betrachtete Unternehmen damit rechnen, dass sich eine spürbare Änderung der Gesamtemissionen ergibt und die regulierende Behörde mit einer Justierung des umweltpolitischen Instrumenteinsatzes reagiert, die sich dann wieder auf die Gewinnsituation auswirkt. Eine vollständig rationale Entscheidung über die Vorteilhaftigkeit einer Innovation würde voraussetzen, dass der Innovator diesen umweltpolitischen Effekt berücksichtigt. Dies erscheint in der Praxis jedoch kaum möglich, denn hierzu müsste der Innovator exakt antizipieren können, wie sich die Verbreitung der Innovation auf die Gesamtemissionen auswirken und welche umweltpolitischen Anpassungsmaßnahmen hierdurch hervorgerufen würden.

Bereits die Beantwortung der ersten dieser beiden Fragen würde den Innovator mit erheblichen Informationsproblemen konfrontieren, denn hierzu wäre es erforderlich, zu ermitteln, welche Emittenten die Innovation übernehmen würden und welche Rückwirkungen dies auf deren Emissionen hätte. Wie jedoch die obige Analyse nahe legt, sind die Vorteilhaftigkeit einer solchen Übernahme sowie die gegebenenfalls hervorgerufenen Auswirkungen auf die Emissionen abhängig von der Produktions- und Kostenstruktur des jeweiligen Emittenten. Eine Antizipation des Effektes auf die Gesamtemissionen würde mithin voraussetzen, dass der Innovator über vollständige Information bezüglich der Produktions- und Kostenstruktur aller Emittenten verfügt. Da dies in der Regel nicht der Fall sein dürfte, kann er bestenfalls versuchen, den *tendenziellen Einfluss* auf die Gesamtemissionen abzuschätzen. Selbst diese Frage lässt sich aber nicht eindeutig beantworten. Denn eine Senkung des Emissionskoeffi-

⁸ Eine Ausnahme bilden hier allenfalls die gegenwärtigen Bemühungen um eine nachgeschaltete CO₂-Abscheidung in Energieerzeugungsanlagen (vgl. z.B. WBGU 2003, S. 94ff und die dort angegebene Literatur).

zienten führt über die einhergehende Kostenentlastung im „end of pipe“-Bereich zwar zu einer Ausdehnung der Produktion, gleichzeitig aber fallen die Emissionen pro Outputseinheit. Damit kann es je nach Einzelfall im Saldo zu steigenden oder fallenden Emissionen kommen.

Ebenso unwägbar wie die Auswirkungen auf die Gesamtemissionen sind aus Sicht des Innovators auch die gegebenenfalls hervorgerufenen umweltpolitischen Anpassungsreaktionen. Auf Basis einer modelltheoretisch idealisierten Vorstellung der regulierenden Behörde, die stets das soziale Optimum anstrebt, oder zumindest im Sinne des Preis-Standard-Ansatzes nach Baumol/Oates (1971) ein exogen vorgegebenes Emissionsziel verfolgt, ließe sich – wiederum vollständige Information seitens des Innovators vorausgesetzt – zwar ermitteln, in welcher Weise der umweltpolitische Instrumenteneinsatz angepasst werden würde. Jedoch ist zu konstatieren, dass Umweltpolitik in der Praxis vielerlei Einflüssen insbesondere durch partikuläre Interessen unterliegt, die auch mit dem Analyseinstrumentarium der Neuen Politischen Ökonomie (vgl. z.B. Endres/Finus 1996) nur unzureichend erfasst werden können.

Der Innovator sieht sich folglich bezüglich der Frage, welche Rückwirkungen die Innovation auf den umweltpolitischen Instrumenteneinsatz haben könnte, einer fundamentalen Unsicherheit gegenüber. Aus diesem Grund wird in der folgenden Analyse davon ausgegangen, dass der Innovator die Vorteilhaftigkeit der Innovation stets unter der Prämisse eines *konstanten* umweltpolitischen Instrumenteneinsatzes beurteilt.

3.3.1 Marginaler technischer Fortschritt

Die jeweilige Gewinnsteigerung bei marginalem technischen Fortschritt im Auflagen- bzw. Abgabefall ergibt sich aus der entsprechenden Differenzierung von [5] bzw. [8]:

$$[9] \quad \frac{\partial \pi_a}{\partial(-\varepsilon)} = \frac{kp^2(\varepsilon - \bar{\varepsilon})}{2[c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]^2} \quad [10] \quad \frac{\partial \pi_t}{\partial(-\varepsilon)} = \frac{t(p - \varepsilon t)}{2c}.$$

Ein unmittelbarer Vergleich dieser Resultate wäre jedoch wenig aussagekräftig, denn es ist offensichtlich, dass etwa eine sehr hohe Emissionsabgabe stets einen stärkeren Innovationsanreiz auslösen würde als eine nur geringfügige Emissionsauflage. Um einen sinnvollen Vergleich anstellen zu können, muss deshalb zunächst Äquivalenz zwischen den beiden Instrumenten hergestellt werden. Äquivalenz erfordert, dass beide Instrumente in der Ausgangssituation vor Innovation zu den gleichen Emissionen führen.⁹ Aus der Bedingung $e_a = e_t$ lässt sich mit Hilfe von [4] und [7] der folgende, zu der Emissionsauflage $\bar{\varepsilon}$ äquivalente Abgabesatz $t(\bar{\varepsilon})$ ableiten:

$$[11] \quad t(\bar{\varepsilon}) = \frac{pk(\varepsilon - \bar{\varepsilon})[c + \varepsilon k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})]}{(c + k\varepsilon^2)[c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]}.$$

Nach Einsetzen dieses äquivalenten Abgabesatzes lässt sich mit Hilfe von [10] bestimmen, welche Gewinnänderung bei marginalem technischen Fortschritt resultiert, wenn eine Abgabe erhoben wird, die auf die gleiche Emissionsminderung zielt, wie die betrachtete Auflage $\bar{\varepsilon}$.

⁹ Ein alternatives, aber im vorliegenden Kontext weniger sinnvolles Äquivalenzkonzept fordert, dass sich bei beiden Instrumenten *nach* Innovation identische Emissionen ergeben (vgl. hierzu Endres, 2000, S.165ff).

Um zu prüfen, welches der beiden Instrumente den stärkeren Innovationsanreiz auslöst, ist dann die Differenz der jeweiligen Gewinnänderungen zu betrachten:

$$[12] \quad \frac{\partial \pi_a}{\partial(-\varepsilon)} - \frac{\partial \pi_t}{\partial(-\varepsilon)} = \frac{\bar{\varepsilon} k^2 p^2 (\varepsilon - \bar{\varepsilon}) [c(2\varepsilon - \bar{\varepsilon}) + k\varepsilon(2\varepsilon^2 - 2\varepsilon\bar{\varepsilon} + \bar{\varepsilon}^2)]}{2(c + k\varepsilon^2)^2 [c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]^2} > 0.$$

Diese Differenz ist für $\varepsilon < \bar{\varepsilon}$ eindeutig positiv, so dass bei marginalem technischen Fortschritt im Auflagenfall eine größere Gewinnsteigerung zu erzielen ist, als im Abgabenfall. Mithin löst eine Emissionsauflage stets einen höheren Innovationsanreiz aus als eine Emissionsabgabe. Es wird sich allerdings im folgenden Abschnitt zeigen, dass dieses Ergebnis zu relativieren ist, wenn anstelle von marginalem nun nicht-marginaler technischer Fortschritt betrachtet wird.

3.3.2 Nicht-marginaler technischer Fortschritt

Zur Abbildung nicht-marginalen technischen Fortschritts wird angenommen, dass der Emissionskoeffizient ausgehend von seinem ursprünglichen Wert ε auf $(1-\alpha)\varepsilon$ sinkt. Dabei stellt der Parameter α einen Indikator für den Umfang des technischen Fortschritts dar ($0 < \alpha \leq 1$). Bei konstantem umweltpolitischen Instrumenteneinsatz beträgt dann der Gewinn *nach* Innovation im Auflagen- bzw. Abgabenfall in Abhängigkeit von α :

$$[13] \quad \pi_a^+(\alpha) = \begin{cases} \frac{p^2}{4[c + k((1-\alpha)\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]} & \text{für } \alpha < \frac{\varepsilon - \bar{\varepsilon}}{\varepsilon} \\ \frac{p^2}{4c} & \text{für } \alpha \geq \frac{\varepsilon - \bar{\varepsilon}}{\varepsilon} \end{cases} \quad [14] \quad \pi_t^+(\alpha) = \frac{k[p - (1-\alpha)\varepsilon t]^2 + ct^2}{4ck}.$$

Bei der Interpretation von [13] ist zu berücksichtigen, dass im Auflagenfall keinerlei Schadstoffvermeidung mehr erforderlich ist, wenn der Emissionskoeffizient bis auf den Grenzwert $\bar{\varepsilon}$ oder einen Wert darunter absinkt, so dass sich durch technischen Fortschritt, der über $\alpha = (\varepsilon - \bar{\varepsilon})/\varepsilon$ hinausgeht, keine zusätzliche Gewinnsteigerung mehr erzielen lässt. Unter Verwendung von [5] und [13] bzw. [8] und [14] lassen sich nun die entsprechenden Gewinndifferenzen $\Delta\pi_a(\alpha) = \pi_a^+(\alpha) - \pi_a$ bzw. $\Delta\pi_t(\alpha) = \pi_t^+(\alpha) - \pi_t$ berechnen, die den Indikator für den Umfang des Innovationsanreizes im Auflagen- bzw. Abgabenfall darstellen. Um eine einheitliche Ausgangsbasis für den folgenden Vergleich zu gewährleisten, ist bei der Bestimmung von $\Delta\pi_t(\alpha)$ auch hier der Abgabesatz t durch den äquivalenten Abgabesatz $t(\bar{\varepsilon})$ zu ersetzen:¹⁰

$$[15] \quad \Delta\pi_a(\alpha) = \begin{cases} \frac{p^2}{4[c + k((1-\alpha)\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]} - \frac{p^2}{4[c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]} & \text{für } \alpha < \frac{\varepsilon - \bar{\varepsilon}}{\varepsilon} \\ \frac{p^2}{4c} - \frac{p^2}{4[c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]} & \text{für } \alpha \geq \frac{\varepsilon - \bar{\varepsilon}}{\varepsilon} \end{cases}$$

¹⁰ Die nachfolgenden Berechnungen wurden mit Mathematica® Version 5.0 durchgeführt. Einzelheiten sind auf Anfrage beim Verfasser erhältlich.

[16]

$$\Delta\pi_t(\alpha) = \frac{kp^2\alpha\varepsilon(\varepsilon - \bar{\varepsilon})[c + k\varepsilon(\varepsilon - \bar{\varepsilon})][2c^2 + k^2\alpha\varepsilon^2(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2 + ck[\varepsilon^2(2 + \alpha) - \varepsilon\bar{\varepsilon}(2 + \alpha) + 2\bar{\varepsilon}^2]]}{4c(c + k\varepsilon^2)^2[c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]^2}$$

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Gewinndifferenzen in Abhängigkeit von α . Dabei ist zu beachten, dass die Gewinndifferenz $\Delta\pi_t(\alpha)$ für $\varepsilon > \bar{\varepsilon}$ eine in α streng monoton steigende Funktion darstellt; das gleiche gilt für $\Delta\pi_a(\alpha)$ innerhalb des Intervalls $0 < \alpha < (\varepsilon - \bar{\varepsilon})/\varepsilon$, während $\Delta\pi_a(\alpha)$ für $\alpha \geq (\varepsilon - \bar{\varepsilon})/\varepsilon$ konstant ist. Darüber hinaus wurde in Abschnitt 3.3.1 bereits gezeigt, dass für $\alpha \rightarrow 0$ stets $\Delta\pi_a(\alpha) > \Delta\pi_t(\alpha)$ gilt, d.h. bei marginalem technischen Fortschritt ist die Gewinndifferenz im Auflagenfall größer als im Abgabenfall. Für den Fall einer „Totalinnovation“ mit $\alpha=1$ ergibt sich demgegenüber:

$$[17] \quad \Delta\pi_t(\alpha=1) - \Delta\pi_a(\alpha=1) = \frac{kp^2(\varepsilon - \bar{\varepsilon})[k^2\varepsilon^4(\varepsilon - \bar{\varepsilon}) + c^2(\varepsilon + \bar{\varepsilon}) + ck(2\varepsilon^3 - \varepsilon\bar{\varepsilon}^2 + \bar{\varepsilon}^3)]}{4(c + k\varepsilon^2)^2[c + k(\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2]^2} > 0.$$

Dieser Ausdruck ist für $\varepsilon > \bar{\varepsilon}$ stets positiv, so dass sich für $\alpha=1$ im Abgabenfall eine größere Gewinndifferenz als im Auflagenfall ergibt. Dies ist auch insoweit plausibel, als sich bei einer „Totalinnovation“ die gleiche Gewinnsituation wie im unregulierten Zustand einstellt und im Abgabenfall damit nicht nur die Kosten der „end of pipe“-Behandlung, sondern auch die Abgabenlast auf die verbleibenden Restemissionen vollständig entfallen.

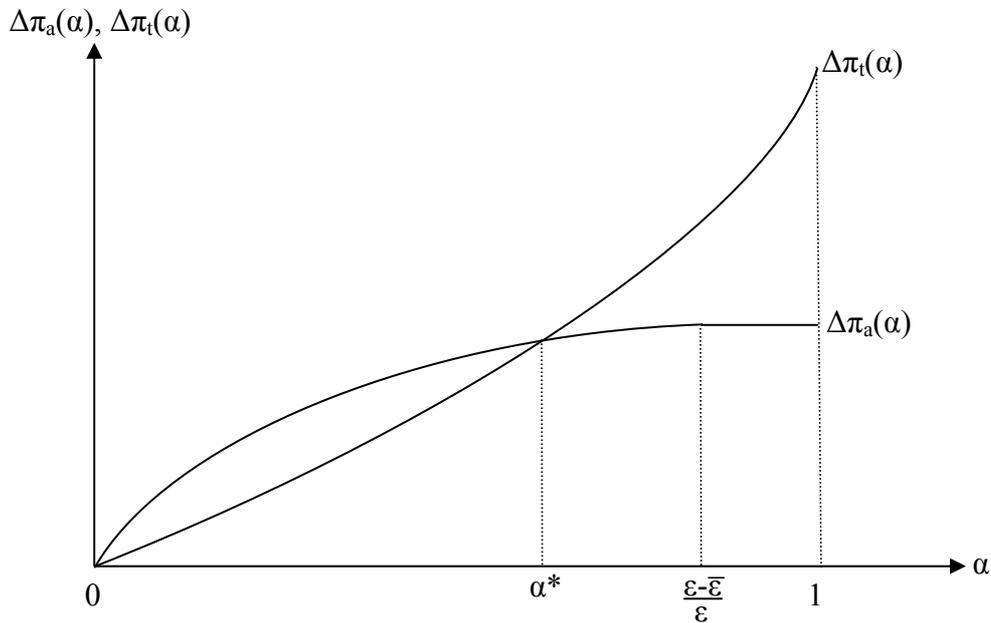


Abbildung 2: Innovationsanreize bei nicht-marginalem technischem Fortschritt.

Zusammen mit den oben genannten Monotonieeigenschaften von $\Delta\pi_a(\alpha)$ und $\Delta\pi_t(\alpha)$ implizieren $\Delta\pi_a(\alpha \rightarrow 0) > \Delta\pi_t(\alpha \rightarrow 0)$ und $\Delta\pi_a(\alpha=1) < \Delta\pi_t(\alpha=1)$, dass innerhalb des Intervalls $0 < \alpha < 1$ stets genau ein α^* existiert, für das $\Delta\pi_a(\alpha^*) = \Delta\pi_t(\alpha^*)$ gilt (vgl. Abbildung 2).¹¹ Der Innova-

¹¹ Es sei darauf hingewiesen, dass dieser Schnittpunkt links oder rechts des kritischen Wertes $(\varepsilon - \bar{\varepsilon})/\varepsilon$ liegen kann. Abbildung 2 illustriert den Fall $\alpha^* < (\varepsilon - \bar{\varepsilon})/\varepsilon$.

tionsanreiz der beiden umweltpolitischen Instrumente hängt folglich davon ab, wie stark die durch technischen Fortschritt zu erwartende Senkung des Emissionskoeffizienten ε ist. Für eine relative geringfügige Senkung mit $\alpha < \alpha^*$ überwiegt der Innovationsanreiz einer Auflagenpolitik, für eine relativ starke Senkung mit $\alpha > \alpha^*$ löst eine Abgabenpolitik den höheren Innovationsanreiz aus. Dabei hängt der kritische Wert α^* nicht nur davon ab, wie streng die jeweilige Umweltpolitik mit $\bar{\varepsilon}$ bzw. $t(\bar{\varepsilon})$ ist, sondern auch von der individuellen Produktions- und Kostenstruktur des betrachteten Unternehmens. Generalisierende Aussagen über verschiedene Unternehmen hinweg sind deshalb nicht möglich.

4 Schlussfolgerungen für den umweltpolitischen Instrumentenvergleich

Der konventionelle Ansatz zur Untersuchung der Innovationswirkungen umweltpolitischer Instrumente kommt regelmäßig zu dem Ergebnis, dass Emissionsabgaben einen stärkeren Innovationsanreiz auslösen als Emissionsauflagen. Demgegenüber konnte in Abschnitt 3 gezeigt werden, dass es im Rahmen einer realistischeren Modellierung, die Rückwirkungen auf die Produktionsentscheidung des Unternehmens berücksichtigt und von einer relativen statt einer absoluten Emissionsauflage ausgeht, nicht mehr möglich ist, die Behauptung einer generellen Überlegenheit von Emissionsabgaben in Bezug auf den ausgelösten Innovationsanreiz aufrecht zu erhalten. Die Frage, ob Emissionsauflagen oder -abgaben den höheren Innovationsanreiz auslösen, lässt sich vielmehr nur noch im konkreten Einzelfall beantworten. Die in der vergleichenden umweltökonomischen Instrumentenanalyse regelmäßig hervorgehobene Überlegenheit des Abgabeninstrumentariums ist damit zu relativieren: Zwar besitzen Emissionsabgaben unter *statischen* Effizienzgesichtspunkten – also im Sinne einer Minimierung der gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskosten – nach wie vor eindeutige Vorteile gegenüber Emissionsauflagen (z.B. Endres, 2000, S. 142ff), jedoch ist nicht auszuschließen, dass letztere in *dynamischer* Betrachtungsweise bei Berücksichtigung der ausgelösten Innovationsanreize vorzuziehen sind. In diesen Fällen sieht sich die umweltpolitische Entscheidungsinstanz einem Dilemma gegenüber, das eine Abwägung zwischen den beiden Beurteilungskriterien der statischen Effizienz und des Innovationsanreizes erfordert. Im Rahmen einer solchen Abwägung ist zum einen zu beachten, dass die statischen Effizienzverluste durch einheitliche Emissionsauflagen c.p. umso geringer sind, je homogener die Vermeidungskostenstruktur der betrachteten Emittenten ist (vgl. Michaelis, 1996, S. 113ff). Zum anderen ist das Gewicht, das dem Kriterium des Innovationsanreizes beigemessen werden sollte, davon abhängig, wie hoch das jeweils noch bestehende Innovationspotenzial bei den betrachteten Technologien eingeschätzt wird. So sind bei weitgehend homogener Vermeidungskostenstruktur und zugleich hohem Innovationspotenzial durchaus Konstellationen denkbar, unter denen das Kriterium der statischen Effizienz in den Hintergrund treten kann und sich die umweltpolitische Instrumentenwahl primär an dem Aspekt des Innovationsanreizes orientiert, woraus durchaus auch eine Empfehlung zugunsten der Auflagenpolitik resultieren kann. Diese Überlegungen implizieren zwar keineswegs eine vollständige „Rehabilitierung“ der in der umweltökonomischen Instrumentenanalyse häufig stiefmütterlich behandelten Auflagenpolitik, sie machen jedoch die Notwendigkeit einer differenzierteren Betrachtungsweise deutlich.

Literatur

- Baumol, W. und Oates, W. (1971): „The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment“. *Swedish Journal of Economics*, Vol. 73 (1971), S. 42-54.
- Cansier, D. (1996): *Umweltökonomie*. 2. neubearbeitete Auflage. Stuttgart.
- Downing, P. und White, L. (1986): „Innovation in Pollution Control“. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 13 (1986), S. 18-29.
- Endres, A. (2000): *Umweltökonomie*. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart.
- Endres, A. und Finus, M. (1996): „Zur Neuen Politischen Ökonomie der Umweltschutzgesetzgebung – Umweltschutzzinstrumente im politischen Prozess.“ In: Gawel, E. (Hrsg.): *Institutionelle Probleme der Umweltpolitik*. Berlin, S. 88-103.
- Hemmelskamp, J. (2000): „Environmental Taxes and Standards: An Empirical Analysis of the Impact on Innovation“. In: Hemmelskamp, J., Rennings, K. und Leone, F. (Hrsg.): *Innovation-Oriented Environmental Regulation*. ZEW Economic Studies, Bd. 10, Heidelberg/New York, S.303-329.
- Michaelis, P. (1996): *Ökonomische Instrumente in der Umweltpolitik*. Heidelberg.
- Milliman, S. und Prince, R. (1989): „Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control“. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 17 (1989), S. 247-265.
- Requate, T. (1998): „Incentives to Innovate under Emission Taxes and Tradeable Permits“. *European Journal of Political Economy*, Vol. 14 (1998), S. 139-165.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (1994): *Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung - Umweltgutachten 1994*. Stuttgart.
- Wenders, T. (1975): „Methods of Pollution Control and the Rate of Change in Pollution Abatement Technology“. *Water Resources Research*, Vol. 11 (1975), S. 393-396.
- Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2003): *Energiewende zur Nachhaltigkeit*. Berlin/Heidelberg/New York.
- Zimmermann, K. (1988): „Technologische Modernisierung der Produktion. Eine Variante präventiver Umweltpolitik“. In: Simonis, U. (Hrsg.): *Präventive Umweltpolitik*. Frankfurt/Main, S. 205-225.