

Das EEG – eine Investition in die Zukunft zahlt sich schon heute aus

Wolfram Krewitt, Joachim Nitsch

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermodynamik,
Systemanalyse und Technikbewertung, Stuttgart
(erscheint in Energiewirtschaftliche Tagesfragen)

Einleitung

Der Ruf nach der „ökologischen Wahrheit“ der Energiepreise hat sich in den letzten zehn Jahren mehr und mehr von einem beliebten Schlagwort zu einem Anspruch mit konkreten energiepolitischen Auswirkungen entwickelt. Nachdem die Europäische Kommission Anfang der 90er Jahre in ihrem 5. Environmental Action Programme forderte, dass „... environmental externalities are accounted for in market mechanisms“, fand die Internalisierung externer Kosten, also die Berücksichtigung der durch Umwelteinwirkungen verursachten volkswirtschaftlichen Kosten in den Energiepreisen, zunehmend Beachtung in vielen politischen Grundsatzpapieren. Der im Februar 2001 von der Europäischen Kommission erlassene „Gemeinschaftsrahmen für staatliche Umweltschutzbeihilfen“ (2001/C37/03) greift zum ersten Mal mit quantitativen Angaben zu externen Kosten in das energiewirtschaftliche Tagesgeschäft ein und erlaubt Betriebsbeihilfen für erneuerbare Energien auf der Basis vermiedener externer Kosten bis zu einer Höhe von 5 € cts./kWh.

Trotz großer Forschungsanstrengungen und beträchtlicher Fortschritte bei der Abschätzung externer Kosten sind allerdings die Unsicherheiten immer noch groß, so dass die Meinungen sowohl über die Höhe der externen Kosten als auch über die Wahl der sinnvollsten Internalisierungsmaßnahmen durchaus auseinandergehen. Neben dem klassischen Internalisierungsinstrument der Ökosteuer – die in der deutschen Ausprägung allerdings den Grad der jeweiligen Umweltbelastung verschiedener Technologien nicht berücksichtigt – gilt auch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) als eine geeignete Maßnahme, den auf Grund externer Effekte vorliegenden Wettbewerbsnachteil erneuerbarer Energien zu kompensieren. In dem vorliegenden Beitrag werden die durch das EEG verursachten Zusatzkosten mit den durch den Einsatz erneuerbarer Energien vermiedenen externen Kosten verglichen. Wegen der bestehenden Unsicherheiten bei der Abschätzung externer Kosten erscheint es dazu als ausreichend, in einer Überschlagsrechnung eine Vorstellung von der Größenordnung der Kosten und der volkswirtschaftlichen Nutzen durch vermiedene Umweltschäden zu entwickeln.

Abschätzung externer Kosten

In den von der Europäischen Kommission seit mehr als zehn Jahren geförderten ExternE Projekten (External Costs of Energy) wurde ein methodischer Ansatz zur Quantifizierung und Bewertung von Umweltschäden durch die Stromerzeugung entwickelt, der inzwischen international weitgehend anerkannt und von verschiedenen nationalen und internationalen Institutionen zur Berechnung externer Kosten verwendet wird. Mit dem ExternE-Ansatz wird versucht, für die wichtigsten der durch verschiedene Stromerzeugungstechnologien verursachten Umwelteinflüsse den „Wirkungspfad“ von der Emission eines Schadstoffs über die Ausbreitung und Umwandlung in der Umwelt bis hin zur Wirkung auf Ökosysteme und den Menschen zu modellieren. Mit verschiedenen Bewertungsverfahren lassen sich die physischen Umweltschäden in Kosten überführen. Die ExternE-Methodik wurde in (European Commission, 1995, 1999) ausführlich dokumentiert und zum Beispiel in (Friedrich u. Krewitt, 1998) zusammengefasst.

Die in ExternE in der Regel ausgewiesenen standort- und anlagenspezifischen externen Kosten je erzeugter kWh lassen sich nur mit Einschränkung auf ein gesamtes Energiesystem verallgemeinern. Für die vorliegende Abschätzung wurden daher mit Hilfe der ExternE-Methode

durchschnittliche externe Kosten je emittierter Einheit Luftschadstoff für Deutschland abgeleitet. Mit diesen schadstoffspezifischen externen Kosten lassen sich leicht die insgesamt durch Emissionsminderungen in einem Energiesystem vermiedenen externen Kosten bestimmen. Bei der Berechnung wurden die Wirkungskategorien berücksichtigt, die den ExternE-Ergebnissen entsprechend im wesentlichen zu den externen Kosten der Stromerzeugung beitragen:

Gesundheitseffekte

Zusammenhänge zwischen der Schadstoffbelastung der Luft und verschiedenen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die von leichten Atemwegsymptomen bis hin zu einer Verkürzung der Lebenserwartung reichen können, wurden in vielen epidemiologischen Studien nachgewiesen. Als besonders wichtig für den Energiebereich hat sich die Belastung der Bevölkerung mit kleinsten Partikeln (Feinstaub) herausgestellt, die – entweder vom Kraftwerk direkt emittiert oder als sekundäre Aerosole aus gasförmigem SO₂ oder NO_x gebildet – schon bei niedrigen Konzentrationen eine Verringerung der Lebenserwartung verursachen können. Zur monetären Bewertung von Gesundheitseffekten liegt eine Vielzahl von Studien vor, in denen die Zahlungsbereitschaft von Individuen zur Minderung eines Gesundheitsrisikos entweder aus Befragungen oder aus der Beobachtung tatsächlicher Verhaltensweisen abgeleitet wird.

Treibhauseffekt

In verschiedenen Studien wurde in den letzten Jahren versucht, die durch eine Klimaänderung verursachten Schäden und die daraus resultierenden Kosten abzuschätzen. Modellrechnungen in ExternE, die nur einen Zeithorizont bis zum Jahr 2100 abdecken, kommen zu marginalen Schadenskosten durch den Treibhauseffekt in Höhe von 2,4 € je Tonne CO₂. Allerdings wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese relativ niedrigen Schadenskosten unter anderem wegen der kurzen betrachteten Zeitspanne nur einen Teil der tatsächlichen Kosten des Treibhauseffekts abdecken. Wegen der großen Unsicherheiten bei der Quantifizierung der Schadenskosten wird in ExternE auch vorgeschlagen, zur Bewertung der Treibhausgasemissionen statt der unbekannteren Schadenskosten die zum Erreichen eines vorgegebenen Minderungsziels aufzuwendenden Vermeidungskosten zu verwenden. Diese Vermeidungskosten können als Zahlungsbereitschaft der Gesellschaft zur Vermeidung eines Umweltproblems, dessen Konsequenzen letztendlich noch nicht erfasst werden können, angesehen werden. Allerdings hängen die CO₂-Vermeidungskosten stark von den energiepolitischen Rahmenbedingungen ab. In einer von der Prognos AG im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie durchgeführten wirtschaftlichen Bewertung einer Reduktion der CO₂-Emissionen in Deutschland um 40% bis zum Jahr 2020 werden durchschnittliche spezifische Emissionsminderungskosten für den Strom- und Fernwärmesektor von rund 30 € je Tonne CO₂ angegeben (Prognos, 2001).

Versauerung und Eutrophierung von Ökosystemen

Bis heute reicht das Verständnis der komplexen Wirkungsmechanismen, die bei der Bodenversauerung und der Eutrophierung von Ökosystemen ablaufen, nicht aus, um mögliche Schäden mit Hilfe von Wirkungsmodellen beschreiben zu können. Aus dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung lässt sich die Forderung ableiten, dass die Aufnahmekapazität natürlicher Ökosysteme für Schadstoffe nicht überschritten wird. Critical Levels (kritische Konzentrationen) und Critical Loads (kritische Eintragsraten), die im Rahmen der Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution der UN-ECE für Ökosysteme ermittelt wurden, stellen die Konzentrationen bzw. Eintragsraten dar, bei deren Unterschreitung nach heutigen Erkenntnissen keine Schädigungen auftreten. Zur Bewertung versauernd und eutrophierend wirkender Emissionen können ähnlich wie beim Treibhauseffekt die zum Erreichen eines gesellschaftspolitisch festgelegten Umweltqualitätsziels erforderlichen Vermeidungskosten herangezogen werden. Zum Schutz der Ökosysteme in Europa wurde von der Europäischen Kommission das Ziel einer „50 % Gap Closure“ (d. h. die Fläche, in denen Critical Loads überschritten werden, soll um 50 % reduziert werden) bis zum Jahr 2010 festgelegt (European Commission, 1997). Aus einer Studie der IIASA (Amann et al., 1998), in der die zum Erreichen dieses Ziels notwendigen Emissionsminderungen und die entsprechenden Kosten der

Emissionsminderungsmaßnahmen abgeschätzt wurden, lassen sich spezifische Vermeidungskosten für SO₂ und NO_x ableiten.

Materialschäden und Ernteverluste

Die Auswirkungen von Luftschadstoffen auf Materialien und auf Feldpflanzen sind in vielen Experimenten ausführlich untersucht worden und werden daher relativ gut verstanden. Auch die monetäre Bewertung ist eher unproblematisch, da Marktpreise zur Bewertung herangezogen werden können. Bei der Berechnung der externen Kosten spielen jedoch die Kosten durch Materialschäden und Ernteverluste nur eine untergeordnete Rolle. Bemerkenswert ist, dass bei niedriger Hintergrundbelastung eine Erhöhung der SO₂-Konzentration durch einen Düngeneffekt zu einer Steigerung des Ertrags bei Feldpflanzen und damit zu negativen externen Kosten führen kann.

In Tabelle 1 sind für die wichtigsten Schadenskategorien die in Anlehnung an die ExternE-Methode berechneten schadstoffspezifischen externen Kosten (durchschnittliche externe Kosten für Emissionen aus Deutschland) für die verschiedenen Schadenskategorien dargestellt.

Tabelle 1: Umweltschadenskosten und Vermeidungskosten je Einheit emittierten Schadstoffs (Durchschnittswerte für Deutschland; in € je Tonne Schadstoff)

| | SO ₂ | NO _x | PM ₁₀ | CO ₂ |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Schadenskosten | | | | |
| Gesundheitseffekte | 5200 | 5910 | 10890 | |
| Ernteverluste | - 2 | 10 | | |
| Materialschäden | 130 | 80 | | |
| Vermeidungskosten | | | | |
| Treibhauseffekt | | | | 30 |
| Versauerung und Eutrophierung | 1480 | 1530 | | |
| Summe ^a | 6808 | 7530 | 10890 | 30 |

^a Strenggenommen dürfte hier keine Summe gebildet werden, da für verschiedene Schadenskategorien verschiedene Bewertungsansätze verwendet werden

Vermiedene externe Kosten durch die Nutzung erneuerbarer Energien

Stromerzeugung durch die Nutzung erneuerbarer Energien

Um die durch die Nutzung erneuerbarer Energien vermiedenen externen Kosten abzuschätzen wird vereinfachend davon ausgegangen, dass durch die erneuerbaren Energien Strom aus fossil gefeuerten EVU-Kraftwerken substituiert wird. Wegen des Kernenergie-Ausstiegsbeschlusses der Bundesregierung stehen die erneuerbaren Energien nicht in Konkurrenz zur Kernenergie. Aus Tabelle 2 wird deutlich, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 1999 auf 2000 deutlich zugenommen hat. Vor allem die Stromerzeugung aus Fotovoltaik und Windkraft sind durch sehr hohe Wachstumsraten gekennzeichnet, wobei sich allerdings die Stromerzeugung aus Fotovoltaik noch auf einem sehr niedrigem Niveau bewegt. Bei der Wasserkraft wird in der folgenden Abschätzung nur die nach dem Stromeinspeisegesetz (StromEG) bzw. nach dem EEG vergütete Strommenge aus Anlagen mit einer Leistung unter 5 MW berücksichtigt.

Tabelle 2: Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland (in GWh/a)

| | 1999 | 2000 |
|--|------|-------|
| Wind | 5390 | 9200 |
| Biomasse | 846 | 1300 |
| Fotovoltaik | 15 | 50 |
| Wasserkraft (vergütet nach StromEG bzw. EEG) | 1660 | 3500 |
| Summe | 7911 | 14050 |

Vermiedene Emissionen durch die Nutzung erneuerbarer Energien

Zur Abschätzung der vermiedenen externen Kosten werden in einem ersten Schritt die durch die regenerative Stromerzeugung vermiedenen Emissionen berechnet. Dazu wird die regenerativ erzeugte Menge Strom (Tabelle 2) mit den in Tabelle 3 dargestellten spezifischen Emissionsfaktoren des fossilen Energieträgermixes der EVU-Kraftwerke multipliziert. Da die Stromerzeugung aus Biomasse zum Teil zu nicht vernachlässigenden Emissionen führen kann, wird der Stromerzeugung aus Biomasse hier vereinfachend nur eine Vermeidung von CO₂-Emissionen „gutgeschrieben“. Tabelle 4 zeigt die durch die Nutzung erneuerbarer Energien vermiedenen Emissionen.

Tabelle 3: Spezifische Emissionen fossilbefuerter EVU-Kraftwerke in Deutschland (VDEW, 2001)

| | 1999 | 2000 |
|---|------|------|
| Spezifische CO ₂ -Emissionen in g/kWh | 960 | 980 |
| Spezifische SO ₂ -Emissionen in mg/kWh | 940 | 470 |
| Spezifische NO _x -Emissionen in mg/kWh | 670 | 620 |
| Spezifische Staub-Emissionen in mg/kWh | 30 | 30 |

Tabelle 4: Vermiedene Emissionen durch die Stromerzeugung aus Wasserkraft (nur nach StromEG bzw. EEG vergüteter Strom), Windkraft, Fotovoltaik und Biomasse (der Stromerzeugung aus Biomasse werden nur vermiedene CO₂-Emissionen angerechnet) in 10³ t

| | 1999 | 2000 |
|-----------------|--------|---------|
| CO ₂ | 7594,6 | 13769,0 |
| SO ₂ | 6,6 | 6,0 |
| NO _x | 4,7 | 7,9 |
| Partikel | 0,2 | 0,4 |

Vermiedene externe Kosten

Die durch die Nutzung erneuerbarer Energien vermiedenen externen Kosten lassen sich leicht aus der Multiplikation der schadstoffspezifischen Schadens- bzw. Vermeidungskosten (Tabelle 1) mit den in Tabelle 4 dargestellten vermiedenen Emissionen berechnen. Im Jahr 1999 konnten durch die Stromerzeugung aus regenerativen Energien bereits externe Kosten in Höhe von 311 Mill. € vermieden werden, ein Jahr später betrug die Summe der vermiedenen externen Kosten 518 Mill. €. Diesem durch eine reduzierte Umweltbelastung erzielte Nutzen stehen Aufwendungen für die Förderung erneuerbarer Energie durch das Stromeinspeisegesetz im Jahr 1999 in Höhe von 260 Mill. € (Staiß, 2000) und durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz im Jahr 2000 von 490 Mill. € (Staiß, 2001) gegenüber (Abbildung 1).

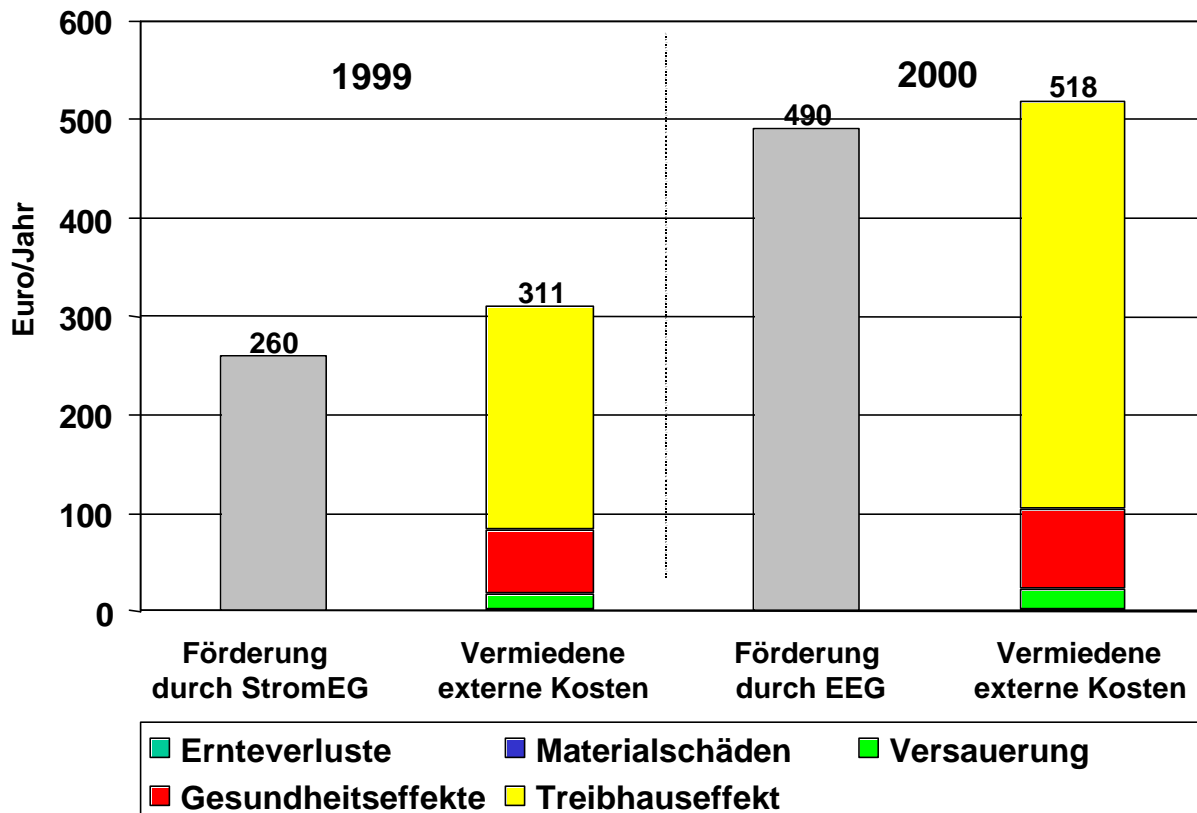


Abbildung 1: Vermiedene externe Kosten im Vergleich zur Förderung erneuerbarer Energien durch das StromEG bzw. das EEG

Kosten und Nutzen – ist ein Vergleich überhaupt möglich?

Wagt man trotz der bestehenden Unsicherheiten den direkten Vergleich zwischen Kosten und Nutzen, so wird aus Abbildung 1 deutlich, dass die Aufwendungen zur Förderung erneuerbarer Energien durch das StrEG bzw. das EEG zwar in der gleichen Größenordnung, aber doch unter den durch die Nutzung erneuerbarer Energien vermiedenen externen Kosten liegen. Die Höhe der vermiedenen externen Kosten wird im wesentlichen durch die Schadenskategorien Versauerung und Eutrophierung, Gesundheitseffekte und den Treibhauseffekt bestimmt, wobei der Treibhauseffekt die quantifizierten externen Kosten dominiert. Methodisch ist die Aufsummierung von Schadenskosten (Gesundheitseffekte, Ernteverluste, Materialschäden) und Vermeidungskosten (Treibhauseffekt, Versauerung und Eutrophierung) sicherlich unzulänglich, wird jedoch wegen der großen Unsicherheiten als „second best option“ durchaus akzeptiert, um zumindest einen Anhaltspunkt für die möglichen externen Kosten für die wichtigen Schadenskategorien Treibhauseffekt und Versauerung zu bekommen.

Bei der Berechnung externer Kosten hat man die Erfahrung gemacht, dass gerade die Schadenskategorien, die möglicherweise zu sehr hohen externen Kosten führen, durch sehr große Unsicherheiten charakterisiert sind, so dass unterschiedliche Annahmen einen großen Einfluss auf die Ergebnisse haben können. Würden zur Bewertung des Treibhauseffekts die in ExternE ermittelten Schadenskosten von 2,4 €/t CO₂ verwendet, so lägen die vermiedenen externen Kosten deutlich niedriger als hier dargestellt. In der ExternE Studie wird allerdings ausdrücklich darauf hingewiesen, dass wegen der Beschränkung des betrachteten Zeithorizonts (nur bis 2100) bei der Schadensabschätzung und der bestehenden großen Unsicherheiten die ausgewiesenen Schadenskosten nur einen Teil der zu erwartenden Schäden widerspiegeln. Würden andererseits statt der hier verwendeten *durchschnittlichen* Vermeidungskosten die zum Erreichen des CO₂-Minderungsziels notwendigen *marginalen* Vermeidungskosten, also die

Kosten für die teuerste Minderungsmaßnahme des erforderlichen Maßnahmenbündels, als Indikator für die gesellschaftliche Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung des Klimaproblems interpretiert, so wären die externen Kosten sehr viel höher als in Abbildung 1 dargestellt. Innerhalb der durch die bestehenden Unsicherheiten aufgespannten Bandbreite können die hier getroffenen Annahmen als pragmatischer, ausgewogener Ansatz angesehen werden.

Bei der hier durchgeführten Abschätzung kann die vereinfachende Beschränkung auf die direkten Emissionen kritisiert werden. Wir wissen, dass die Stromerzeugung aus Windkraft oder Fotovoltaik keine „Zero Emission“-Technologie ist, da Materialbereitstellung und Komponentenfertigung zu Umweltbelastungen in vorgelagerten Prozessstufen führen. Allerdings ist auch die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern mit erheblichen indirekten Emissionen verbunden. Verschiedene Ökobilanzstudien haben gezeigt, dass vor allem für die Windenergienutzung die indirekten Emissionen deutlich unter den durch Förderung, Aufbereitung und Bereitstellung fossiler Brennstoffe verursachten Emissionen liegen (siehe z.B. Marheineke et al., 2001). Für die Fotovoltaik trifft dies unter heutigen Bedingungen noch nicht zu, allerdings ist ihr Beitrag zur Stromerzeugung noch sehr klein. Durch die Beschränkung auf die direkten Emissionen werden in der vorliegenden Abschätzung die Emissionsminderungen und damit die vermiedenen externen Kosten durch die Nutzung erneuerbarer Energien eher unterschätzt.

Kosten werden durch vermiedene Umweltschäden kompensiert

Ausgehend vom heutigen Stand des Wissens zur Berechnung externer Kosten kann davon ausgegangen werden, dass die durch die Nutzung erneuerbarer Energien vermiedenen externen Kosten in der gleichen Größenordnung wie die Aufwendungen zur Förderung durch das EEG liegen. Unabhängig von verschiedenen anderen Zielen, die mit dem EEG verfolgt werden, „lohnt“ sich also die Förderung erneuerbarer Energien alleine aufgrund der vermiedenen Umweltschäden und den damit verbundenen volkswirtschaftlichen Nutzen. Dies heißt nicht unbedingt, dass das EEG ein optimales Instrument zur Internalisierung externer Kosten ist. Die Förderung der Fotovoltaik mit 99 Pf/kWh ist aus heutiger Sicht nicht alleine mit den vermiedenen externen Kosten zu rechtfertigen. Allerdings ist das EEG auch nicht als Internalisierungsinstrument konzipiert, sondern erfüllt auch andere Aufgaben im Kontext der verschiedenen energiepolitischen Instrumente. Die vorliegende Abschätzung zeigt aber, dass das EEG insgesamt so ausgelegt ist, dass den Aufwendungen Nutzen durch vermiedene Umweltschäden in gleicher Größenordnung gegenüberstehen.

Es ist nicht zu vergessen, dass es neben dem EEG auch andere Fördermaßnahmen zur Markteinführung erneuerbarer Energien mit einem nicht zu vernachlässigenden Budget gibt. Ähnlich wie das EEG haben auch diese Förderprogramme verschiedene energie-, wirtschafts- und technologiepolitische Zielsetzungen, die nicht nur dem Umweltschutz dienen. Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die vermiedenen externen Kosten zumindest die direkten Vergütungen für die Stromeinspeisung aus Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung kompensieren. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass andere wesentliche Aspekte einer nachhaltigen Energieversorgung wie die Schonung von Ressourcen, die Versorgungssicherheit, die Risikotoleranz oder die gerechte Verteilung globaler Umweltnutzungsmöglichkeiten bei der Quantifizierung externer Kosten bis heute kaum berücksichtigt werden können. Die Nutzung erneuerbarer Energien liefert aber auch in diesen Bereichen einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung.

Literatur

Amann M, Bertok I, Cofala J, Gyarfas F, Heyes C, Klimont Z, Makowski M, Schöpp, W, Syri s (1998) Emission Reduction Scenarios to Control Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone in Europe. Report prepared for the 22nd Meeting of the UN/ECE Task-Force on Integrated Assessment Modelling. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.

European Commission (1995) *Externalities of Fuel Cycles*, European Commission, DG XII, Science, Research and Development, JOULE. ExternE Externalities of Energy. Volume 2: Methodology. Published by the European Commission, EUR 16521

Commission of the European Communities: *Communication to the Council and the European Parliament on a Community Strategy to Combat Acidification*. COM(97) 88 final. Brussels, 12.03.1997

European Commission (1999) *Externalities of Fuel Cycles*, European Commission, DG XII, Science, Research and Development, JOULE. ExternE – Externalities of Energy. Volume 7: Methodology 1998 update. Published by the European Commission, EUR 19083

Friedrich, R., Krewitt, W. (1998) Externe Kosten der Stromerzeugung. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 48. Jg. (1998) Heft 12.

Marheineke, T., Krewitt, W., Friedrich, R. (2001) Lebenszyklusanalyse verschiedener Stromerzeugungstechnologien. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 51. Jg., Heft 5, pp.274-279.

Prognos (2001) Energiepolitische und gesamtwirtschaftliche Bewertung eines 40%-Reduktionsszenarios. Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, 561-5459. Basel.

Staiß, F. (2000) *Jahrbuch Erneuerbare Energien 2000*. Hrsg.: Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg. Biebrstein-Verlag, Radebeul.

Staiß, F. (2001) *Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001*. Hrsg.: Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg. Biebrstein-Verlag, Radebeul.

VDEW (2001) Emissionsentwicklung bei EVU-Kraftwerken. VDEW Materialien, M-03/2001. Frankfurt.