

Nachhaltigkeit und Klimaschutz, Wettbewerbsfähigkeit und Versorgungssicherheit: Ohne Kernenergie möglich?

Prof. Dr.-Ing. Alfred Voß

**Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
Universität Stuttgart**

Forum in Berlin

12. März 2002

1. Einleitung

In der Zeitschrift „Politische Ökologie“ war vor einiger Zeit, als Fazit über die bisherige Nachhaltigkeitsdebatte zu lesen: „Man könnte bilanzieren: Seit Rio (1992) ist nichts so nachhaltig wie das Reden und Schreiben über „nachhaltige Entwicklung“ oder „Sustainable Development“ und gleichzeitig nichts so aussichtslos wie der Versuch, den Begriff konsensfähig und allgemein verbindlich zu definieren“. Damit ist die derzeitige Diskussion über das Leitbild einer „Nachhaltigen Entwicklung“ treffend beschrieben. Dieses Leitbild hat mit dem Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung – nach ihrer Vorsitzenden auch Brundtland-Kommission genannt – „Unsere gemeinsame Zukunft“ aus dem Jahr 1987 zunehmend Eingang in die entwicklungspolitische, aber auch in die energiepolitische Diskussion gefunden.

2. Nachhaltigkeit und Energieversorgung

Obwohl festzustellen ist, dass das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung auch über die verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen hinweg eine breite prinzipielle Zustimmung findet, so spannen doch die Vorstellungen und Interpretationen des Leitbildes, sowohl hinsichtlich ihrer normativen bzw. theoretisch-naturwissenschaftlichen Fundierungen als auch hinsichtlich ihrer abgeleiteten Handlungsziele bzw. Handlungsanweisungen - dies gilt gerade für den Energiebereich - eine große Bandbreite auf.

So betont die Bundesregierung, oder genauer gesagt der Bundesminister für Wirtschaft und Technologie im gerade erschienenen Energiebereich mit dem Titel „Nachhaltige Energiepolitik für eine zukunftsfähige Energieversorgung“, dass die „ökologische Steuerreform“ und der Ausstieg aus der Kernenergie wesentliche Elemente einer am Leitbild der Nachhaltigkeit ausgerichteten Energiepolitik sind, obwohl an anderer Stelle festgestellt wird, dass eine Energiepolitik dann nachhaltig ist, wenn sie die energiepolitischen Ziele Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit gleichrangig verwirklicht.

Soll das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung nicht zur bloßen Worthülse werden, die von verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen für ihre jeweiligen Interessen instrumentalisiert wird, dann ist eine inhaltliche Konkretisierung dringend geboten. Diese ist auch unumgänglich, will man die verschiedenen Energieoptionen im Hinblick auf ihre Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung bewerten und einordnen.

Die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“ des Deutschen Bundestages hat in ihrem Zwischenbericht den Versuch gemacht, das Leitbild Nachhaltigkeit für den Energiebereich zu konkretisieren und Indikatoren für die Operationalisierung einer nachhaltigen Energieversorgung zu entwickeln. Obwohl nicht in allen Punkten Übereinstimmung erzielt werden konnte, sind die Arbeiten der Enquete-Kommission eine brauchbare Grundlage für die Formulierung einer nachhaltigen Energiepolitik.

Bei der Konkretisierung des Begriffes „Nachhaltigkeit für den Energiebereich“, werde ich mich auf die Arbeit der Enquete-Kommission abstützen.

Im Verständnis der Brundtland-Kommission wie der Rio-Deklarationen beinhaltet das Leitbild "Nachhaltige Entwicklung" die beiden sich intuitiv scheinbar widersprechenden Forderungen nach schonender Umweltnutzung, die die Tragekapazität und den immateriellen Wert von Umwelt und Natur auf Dauer erhält, und nach weiterer wirtschaftlicher und sozialer Entwicklung. Die Brundtland-Kommission charakterisiert als nachhaltige Entwicklung eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.

Nachhaltige Entwicklung meint also eine Entwicklung, welche die Verbesserung der ökonomischen und sozialen Lebensbedingungen aller

Menschen, der heute und zukünftig lebenden, mit der langfristigen Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang bringt. Nachhaltige Entwicklung als Leitbild geht also über die ökologischen Fragen weit hinaus und betrifft insbesondere auch den Erhalt bzw. die Verbesserung ökonomischer und sozialer Leistungsfähigkeiten

Diese allgemeinen inhaltlichen Beschreibungen von Nachhaltigkeit, die für viele zustimmungsfähig sind, sagen aber noch wenig darüber aus, worauf es bei einer nachhaltigen Entwicklung konkret, z.B. in Bezug auf die Energieversorgung, ankommt.

Jede praktische Konkretisierung des Leitbildes Nachhaltigkeit kann aber nur dann tragfähig sein, wenn sie, was die materiell – energetischen Aspekte betrifft, den Naturgesetzen Rechnung trägt. In diesem Kontext kommt dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, den der Chemiker und Philosoph Wilhelm Ostwald "das Gesetz des Geschehens nannte" eine besondere Bedeutung zu.

Die wesentliche Aussage des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik ist, dass Leben und die dazu notwendige Befriedigung von Bedürfnissen, aber auch die Erbringung kultureller Leistungen unumgänglich mit dem Verbrauch von arbeitsfähiger Energie und verfügbarer Materie verbunden ist.

Darüber hinaus ist der besonderen Rolle der Ressource Wissen Rechnung zu tragen. Unser Wissen ist zwar zu jedem Zeitpunkt begrenzt, es wird

aber nicht verbraucht, sondern ist sogar vermehrbar. Die durch Wissenszuwachs steigende Gestaltungsfähigkeit und die damit mögliche Weiterentwicklung von Technik sind die Basis um die Entfaltungsspielräume für die kommenden Generationen zu erhalten und zu erweitern.

Im Kontext einer Konkretisierung des Leitbildes der Nachhaltigkeit lässt sich die Notwendigkeit der Begrenzung von ökologischen Belastungen und von Klimaänderungen wohl begründen. Schwieriger wird es schon bei der Frage, ob denn die Nutzung erschöpfbarer Energieressourcen mit dem Leitbild einer "Nachhaltigen Entwicklung" vereinbar ist, denn Erdöl und Erdgas oder auch Kernbrennstoffe, die wir heute verbrauchen, stehen zukünftigen Generationen ja nicht mehr zur Verfügung. Hieraus wird dann abgeleitet, dass nur die Nutzung "erneuerbarer Energien" oder „erneuerbarer Ressourcen“ mit dem Leitbild Nachhaltigkeit vereinbar sei.

Dies ist aus zwei Gründen nicht tragfähig. Zum einen ist auch die Nutzung erneuerbarer Energie, z.B. von solarer Energie, immer mit einer Inanspruchnahme von nicht-erneuerbaren Ressourcen, z.B. nichtenergetischen Rohstoffen und Materialien verbunden, deren Vorräte auch begrenzt sind. Und zum zweiten würde dies bedeuten, dass nicht-erneuerbare Ressourcen überhaupt nicht, auch nicht von den zukünftigen Generationen genutzt werden dürften.

Wenn also eine unveränderte Weitergabe der nicht-erneuerbaren Ressourcenbasis offensichtlich unmöglich ist, dann kommt es im Sinne des Leitbildes einer Nachhaltigen Entwicklung darauf an, den nach-

kommenden Generationen eine technisch-wirtschaftlich nutzbare Ressourcenbasis zu hinterlassen, die ihnen die Befriedigung ihrer Bedürfnisse mindestens entsprechend unserem heutigen Niveau erlaubt.

Die jeweils verfügbare Energie- und Rohstoffbasis wird aber wesentlich durch die verfügbare Technik bestimmt. Energie- und Rohstofflagerstätten, die zwar in der Erdkruste vorhanden sind, aber mangels entsprechender Explorations- und Fördertechniken nicht gefunden und gefördert bzw. nicht wirtschaftlich genutzt werden können, können keinen Beitrag zur Sicherung der Lebensqualität leisten. Es ist also der Stand des Wissens und der Technik, der aus wertlosen Ressourcen verfügbare Ressourcen macht und ihre Quantität mitbestimmt.

Für die Nutzung begrenzter Energievorräte bedeutet dies, dass ihre Nutzung mit dem Leitbild Nachhaltigkeit so lange vereinbar ist, wie es gelingt, den nachfolgenden Generationen eine mindestens gleich große technisch-wirtschaftlich nutzbare Energiebasis verfügbar zu machen. Anzumerken ist hier, dass in der Vergangenheit – trotz steigenden Verbrauchs fossiler Energieträger – die nachgewiesenen Reserven, d.h. die technisch und ökonomisch verfügbaren Energiemengen, zugenommen haben. Darüber hinaus konnten durch technisch-wissenschaftlichen Fortschritt neue Energiebasen, wie die Kernenergie oder ein Teil der erneuerbaren Energieströme, technisch-wirtschaftlich nutzbar gemacht werden.

Was nun die Inanspruchnahme der Senkenfunktion der Ressource Umwelt betrifft, so müsste in der Diskussion stärker beachtet werden, dass Umweltbelastungen, auch die im Zusammenhang mit unserer heutigen Energieversorgung, vorrangig durch anthropogen hervorgerufene Stoffströme, durch Stoffzerstreuung, d.h. Stofffreisetzung in die Umwelt, verursacht werden. Es ist also nicht die Nutzung der Arbeitsfähigkeit der Energie, die die Umwelt schädigt, sondern es sind vielmehr die mit dem jeweiligen Energiesystem verbundenen stofflichen Freisetzungen, wie z.B. das Schwefeldioxid oder das Kohlendioxid bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas, die zu Umweltbelastungen führen. Dies wird deutlich an der Sonnenenergie, die mit ihrer zur Verfügung gestellten Arbeitsfähigkeit - der solaren Strahlung - einerseits Hauptquelle allen Lebens auf der Erde ist, andererseits aber auch der bei weitem größte Entropiegenerator ist, weil nahezu die gesamte Energie der Sonne nach ihrer Entwertung als Wärme bei Umgebungstemperatur in den Weltraum wieder abgestrahlt wird. Da ihre Energie, die Strahlung, nicht an einen stofflichen Energieträger gebunden ist, resultieren aus der Entropieerzeugung aber keine Umweltbelastungen im heutigen Sinn. Dies schließt natürlich Stofffreisetzungen und damit verbundene Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der Herstellung einer Solaranlage nicht aus.

Der hier angesprochene Sachverhalt ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil er die Möglichkeit einer Entkopplung von Energieverbrauch (Verbrauch an Arbeitsfähigkeit) und Umweltbelastung beinhaltet. Ein wachsender Verbrauch an arbeitsfähiger Energie und sinkende Umwelt- und Klimabelastungen sind somit kein Widerspruch. Die Stofffreisetzungen

nicht die Energieströme müssen begrenzt werden, will man die Umwelt und das Klima schützen.

Neben der Erweiterung der verfügbaren Ressourcenbasis kommt unter dem Leitbild der "Nachhaltigen Entwicklung" natürlich auch dem haushälterischen Umgang mit Energie, oder besser gesagt mit allen knappen Ressourcen eine besondere Bedeutung zu. Effiziente Ressourcennutzung im Zusammenhang mit der Energieversorgung betrifft dabei nicht nur die Ressource Energie, da die Bereitstellung von Energiedienstleistungen immer auch den Einsatz anderer knapper Ressourcen, wie nicht energetische Rohstoffe, Kapital, Arbeit und Umwelt erfordert.

Die effiziente Nutzung aller Ressourcen, die sich aus dem Leitbild Nachhaltigkeit ableitet, entspricht aber auch dem allgemeinen ökonomischen Prinzip. Aus beiden folgt, dass ein Energiesystem oder eine Energiewandlungskette zur Bereitstellung von Energiedienstleistungen dann effizienter als eine andere ist, wenn sie für die Energiedienstleistung weniger Ressourcen einschließlich der Ressource Umwelt in Anspruch nimmt.

In der Ökonomie dienen Kosten und Preise als Maß für die Inanspruchnahme knapper Ressourcen. Geringere Kosten bei gleichem Nutzen bedeuten eine ökonomisch effizientere, eine ressourcenschonendere d.h. nachhaltigere Lösung. Dieses Verständnis von Kosten, so scheint mir, ist in der Energiediskussion weitgehend verlorengegangen.

Gegen Kosten als Maß für Nachhaltigkeit von Energiesystemen mag man einwenden, dass gegenwärtig die externen Effekte, z.B. von Umweltschäden, in den Kostenkalkülen noch nicht erfasst werden. Diesem Umstand kann durch die Internalisierung externer Kosten abgeholfen werden. Wenn wir uns bewusst machen, dass Kosten, die externe Effekte soweit wie möglich mit berücksichtigen, das derzeit beste Maß für die Inanspruchnahme knapper Ressourcen sind, dann kommt ihnen auch eine besondere Bedeutung bei der Beurteilung von Energietechniken im Hinblick auf das Leitbild Nachhaltigkeit zu. Nachhaltige Energiesysteme sind also solche deren Vollkosten oder gesamtwirtschaftliche Kosten möglichst gering sind.

Ökonomische Effizienz ist deshalb auch ein zentrales Prinzip für die Verwirklichung einer Nachhaltigen Energieversorgung. Hierauf komme ich später im Zusammenhang mit der Liberalisierung noch einmal zurück.

Kosteneffizienz ist darüber hinaus auch die Basis einer wettbewerbsfähigen Energieversorgung zur energieseitigen Sicherung der wirtschaftlichen Entwicklung und ausreichender Beschäftigung in unserem Land und sie ist der Schlüssel zur Vermeidung nicht tolerierbarer Klimaveränderungen. Beides sind ja zentrale Aspekte des Leitbildes einer "nachhaltigen Entwicklung".

Aus dem bisher Gesagten lassen sich für eine Operationalisierung des Leitbildes Nachhaltigkeit im Hinblick auf die Energieversorgung die folgenden Orientierungs- und Handlungsregeln ableiten:

1. Die Nutzung erneuerbarer Ressourcen darf auf Dauer nicht größer sein als ihre Regenerationsrate.
2. Nicht-erneuerbare Energieträger und Rohstoffe sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger wirtschaftlich nutzbarer Ersatz verfügbar gemacht wird, in Form neu erschlossener Vorräte, erneuerbarer Ressourcen oder einer höheren Produktivität der Ressourcen.
3. Stoffeinträge in die Umwelt dürfen auf Dauer die Aufnahmekapazität bzw. Assimilationsfähigkeit der natürlichen Umwelt nicht überschreiten.
4. Die Gefahren und Risiken für die menschliche Gesundheit müssen kleiner sein als die durch die Energienutzung vermiedenen natürlichen Gefahren und Risiken.
5. Die Bereitstellung von Energiedienstleistungen soll zu möglichst geringen gesamtwirtschaftlichen Kosten (private plus externe Kosten) erfolgen.

Abgesehen von der besonderen Betonung unserer Verantwortung für die kommenden Generationen, ist das Leitbild „Nachhaltigkeit“ durchaus kompatibel mit den allgemein verfolgten energiepolitischen Zielen, Energie

- bedarfsgerecht und sicher
- mit möglichst geringen volkswirtschaftlichen Kosten

- und umweltverträglich
bereitzustellen.

3. Nachhaltigkeit verschiedener Stromerzeugungssysteme

Ausgehend von der inhaltlichen Konkretisierung des Leitbildes „Nachhaltige Entwicklung“ will ich nun verschiedene Stromerzeugungssysteme bezüglich ihrer relativen Nachhaltigkeit, d.h. in Bezug auf ihre Ressourcen- und Umweltinanspruchnahme sowie ihre Kosten vergleichen. Dazu werden Ergebnisse von Material-Energie- und Stoffbilanzen erläutert, die alle Stufen und Prozesse erfassen, die für die Energiebereitstellung notwendig sind. Die Bilanzierung erfolgt also über den gesamten Lebensweg und erfasst alle vor - bzw. nachgelagerten Prozessschritte der Bereitstellung des Energieträgers sowie der Materialien für die involvierten technischen Anlagen, insbesondere die Energiewandler. Dies entspricht einer Betrachtung von der Wiege bis zur Bahre. Die exemplarischen Betrachtungen beschränken sich auf Stromerzeugungssysteme, die dem derzeitigen Stand der Technik entsprechen und mit heutigen Produktionsstrukturen hergestellt werden.

Energieaufwand

Die Bereitstellung von Energie ist immer mit einem investiven Energieaufwand für die Errichtung der Anlagen und im Falle der fossilen und nuklearen Energieträger auch für die Bereitstellung des Brennstoffs sowie für die Entsorgung verbunden.

Der kumulierte Energieaufwand, der in Tabelle 1 für verschiedene Stromerzeugungssysteme dargestellt ist, erfasst den Aufwand an Primärenergie für die Herstellung und Entsorgung des Kraftwerks und die Gewinnung und Bereitstellung des Brennstoffes, um eine kWh Elektrizität bereitzustellen. Für die Windenergie liegt er im Bereich von 5 bis 15 %. Bei der Steinkohle, Braunkohle und beim Erdgas wird er wesentlich durch den Energieaufwand für die Gewinnung, Aufbereitung und den Transport des Brennstoffs bestimmt. Für die Wasserkraft und die Kernenergie ist er im Bereich von 3 - 8 % und für die Photovoltaik liegt er derzeit noch um einen Faktor 10 höher. Dies schlägt sich dann auch in der energetischen Amortisationszeit nieder, die bei der Photovoltaik etwa 6 bis 12 Jahre beträgt, und damit deutlich größer als bei allen anderen Systemen ist.

Tabelle 1: Kumulierter Energieaufwand und energetische Amortisationszeit

	KEA (ohne Brennstoff) [kWh_{prim} / kWh_{el}]	EAZ [Monate]
Steinkohle D	0,28 - 0,30	3,2 - 3,6
Braunkohle	0,16 - 0,17	2,7 - 3,3
Erdgas GuD	0,17	0,8
Nuklear	0,07 - 0,08	2,9 - 3,4
Photovoltaik	0,62 - 1,24	71 - 141
Wind	0,05 - 0,15	4,6 - 13,7
Wasser	0,03 - 0,05	8,2 - 13,7

Materialaufwand

Diese Tabelle (Tabelle 2) zeigt für ausgewählte Materialien die Ressourcenintensität der hier betrachteten Stromerzeugungssysteme. Erfasst ist der jeweilige Materialaufwand für den Bau des Kraftwerks sowie für alle Prozessschritte zur Bereitstellung des Brennstoffs.

Tabelle 2: Gesamter Rohstoff und Materialaufwand

	Eisen [kg / GWh _{el}]	Kupfer [kg / GWh _{el}]	Bauxit [kg / GWh _{el}]
Steinkohle D	1.750 - 2310	2	16 - 20
Braunkohle	2.100 - 2.170	7 - 8	18 - 19
Erdgas GuD	1.207	3	28
Nuklear	420 - 490	6 - 7	27 - 30
Photovoltaik	3.690 - 24.250	210 - 510	240 - 4.620
Wind	3.700 - 11.140	47 - 140	32 - 95
Wasser	1.560 - 2.680	5 - 14	4 - 11

Die Tabelle erfasst nur einen kleinen Teil der Rohstoffressourcen, sie stellt also keine vollständige Materialbilanz dar. Sie lässt aber erkennen, dass die geringere Energiedichte der solaren Strahlung und des Windes über die notwendigen großen Energiesammelungsflächen zu einem vergleichsweise hohen Materialbedarf führt.

⇒ Dem hohen Materialaufwand bei Wind und Photovoltaik steht andererseits gegenüber, dass die Stromerzeugung nicht an die Umsetzung eines stofflichen Energieträgers gebunden ist. Diesbezügliche Stofffreisetzungen, die zu Umweltbelastungen führen, treten somit nicht auf.

Umweltbelastungen, die aus Stoffemissionen resultieren, können demnach nur im Zusammenhang mit der Herstellung und Entsorgung des Kraftwerks entstehen.

Kumulierte Emissionen

In Abbildung 1 sind die kumulierten über den gesamten Lebensweg aufsummierten Emissionen ausgewählter Schadstoffe der hier betrachteten Stromerzeugungssysteme gegenübergestellt.

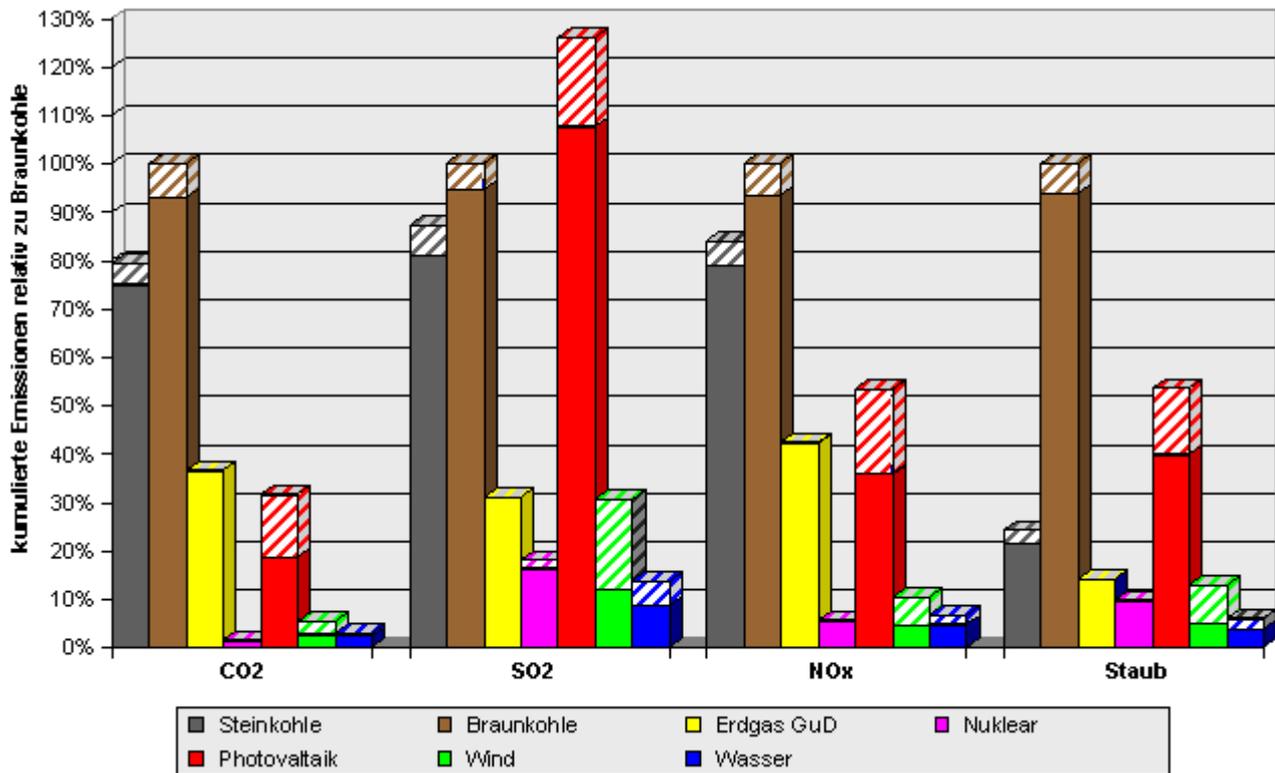


Abbildung 1: Kumulierte Emissionen

Bei den hier erfassten Schadgasen sind die auf die erzeugte kWh bezogenen Emissionen der Kernenergie, der Wasserkraft und der Windstromerzeugung vergleichsweise niedrig. Verglichen mit der Steinkohle und dem Erdgas sind die kumulierten Emissionen der Photovoltaik durchaus beachtlich. Beim CO₂ machen sie rund 50 – 90 % der Emissionen einer Stromerzeugung mit Erdgas aus.

Hier drückt sich der Umstand aus, dass ein hoher kumulierter Energieaufwand und eine hohe Materialintensität auch bei energierohstofflosen

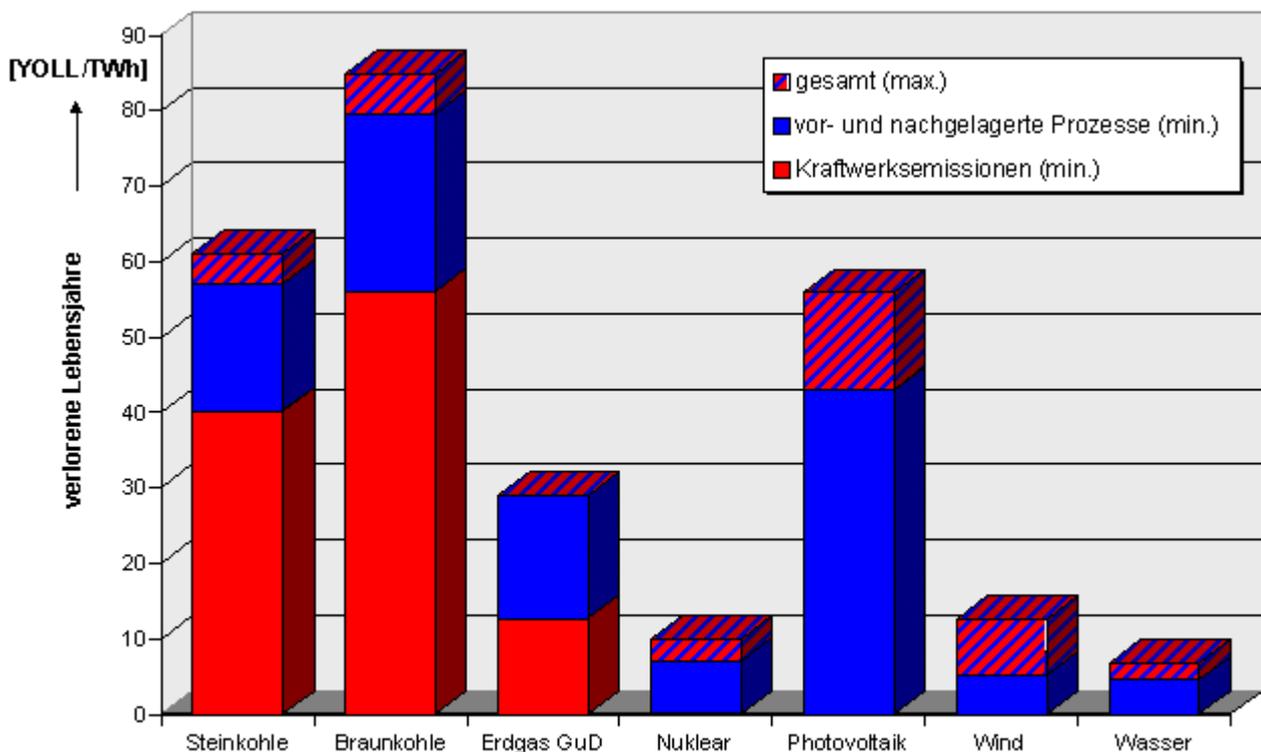
Energiebereitstellungssystemen mit hohen indirekten Schadstoffemissionen verbunden sein kann.

Gesundheitsrisiken

Die Stromerzeugung mittels fossiler oder nuklearer sowie aus erneuerbaren Energien ist mit direkten oder indirekten Emissionen von Luftschadstoffen bzw. Belastungen durch ionisierende Strahlung verbunden, die zu Gesundheitseffekten führen können.

Ausgehend von den mittels einer Lebensweg-Analyse ermittelten kumulierten Emissionen lassen sich die resultierenden Gesundheitsrisiken abschätzen.

In Abbildung 4 ist das durch die hier betrachteten Stromerzeugungstechniken verursachte zusätzliche Sterblichkeitsrisiko, ausgedrückt als verlorene Lebensjahre je TWh, dargestellt.



↗ durchschnittliche spezifische Gesundheitsrisiken für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

Abbildung 4: Gesundheitsrisiken

Die gesundheitlichen Risiken der Verstromung von Braun- und Steinkohle in Dampfkraftwerken sind vergleichsweise hoch. Obwohl der Prozess der

Stromerzeugung in photovoltaischen Anlagen emissionsfrei ist, liegen die Risiken wegen der hohen Aufwendungen für die Materialherstellung und die Komponentenfertigung über denen eines modernen Erdgas GuD-Kraftwerkes. Die Stromerzeugung mittels Kernenergie, Windenergie und Wasserkraft weisen die geringsten Risiken auf.

Die Risiken der Kernenergie schließen auch die Erwartungswerte der Risiken von auslegungsüberschreitenden Unfällen mit ein. Offen bleibt, ob Risiken mit unterschiedlichem Schadenspotential unterschiedlich zu werten sind.

Externe Kosten

Ich hatte zuvor erwähnt, dass wenn Kosten als Maß für die Nachhaltigkeit von Energiesystemen verwendet werden sollen, auch die Kosten der Umweltinanspruchnahme in die Kostenermittlung mit einbezogen werden müssen.

Bezüglich der Ermittlung dieser sogenannten externen Kosten sind zwar in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht worden, dennoch sind die Unsicherheiten für Teilbereiche wie z.B. die Klimaveränderung, vergleichsweise groß.

Die entsprechend dem derzeitigen Stand quantifizierbaren externen Kosten sind in Abbildung 5 dargestellt. Sie umfassen die Gesundheitsschäden, Schäden der Agrarproduktion, Materialschäden und Schäden an Ökosystemen durch Versauerung. Für die externen Kosten des Treibhauseffektes, deren monetäre Bewertung noch mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist, ist hier eine Bandbreite angegeben, die aus alternative Bewertungsansätzen resultiert.

[€/Cent/kWh]	Steinkohle	Braun- kohle	Erdgas GuD	Nuklear	Photo- voltaik	Wind	Wasser
Schadenskosten¹⁾							
Gesundheit	0,81 - 0,87	1,13 - 1,20	0,41	0,10 - 0,11	0,61 - 0,79	0,07 - 0,18	0,06 - 0,10
Getreide	0,01 - 0,02	-0,002	0,031	0,000	-0,003	-0,001	0,000
Material	0,01	0,01 - 0,02	0,006	0,002	0,01	0,002	0,001
Treibhauseffekt	0,19 - 0,20	0,24 - 0,25	0,09	0,004	0,05 - 0,08	0,01	0,007
Vermeidungskosten²⁾							
Vers., Eutroph.	0,44 - 0,47	0,52 - 0,55	0,20	0,06	0,39 - 0,48	0,04 - 0,11	0,04 - 0,06
Treibhauseffekt	1,50 - 1,59	1,86 - 2,00	0,73	0,03	0,37 - 0,63	0,06 - 0,11	0,05 - 0,06
Gesamt	1,45 - 2,96	1,89 - 3,77	0,74 - 1,38	0,16 - 0,29	1,05 - 1,92	0,13 - 0,40	0,11 - 0,21
¹⁾ durchschnittliche spezifische Schadenskosten für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland ²⁾ nach Standard-Preis-Ansatz							

²⁾ durchschnittliche spezifische Externe Kosten für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

Abbildung 5: Externe Kosten

Die externen Kosten sind für die Kohlekraftwerke am höchsten und für die Kernenergie, der Wind- und Wasserkraftnutzung am geringsten. Die externen Kosten der derzeitigen photovoltaischen Stromerzeugung sind von derselben Größenordnung, wie die der Stromerzeugung aus Erdgas.

Stromgestehungskosten (Produktions- und externe Kosten)

Kosten sind ein Maß für die Inanspruchnahme knapper Ressourcen. Vor diesem Hintergrund ist dann auch verständlich, dass ein hoher Rohstoff- und Energieaufwand sowie hohe Umweltbelastungen sich in den Kosten niederschlagen.

Die in Abbildung 6 dargestellten Stromgestehungskosten weisen aus, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit höheren, im Fall der Photovoltaik sogar deutliche höheren Kosten verbunden ist, als die aus fossilen und nuklearen Kraftwerken.

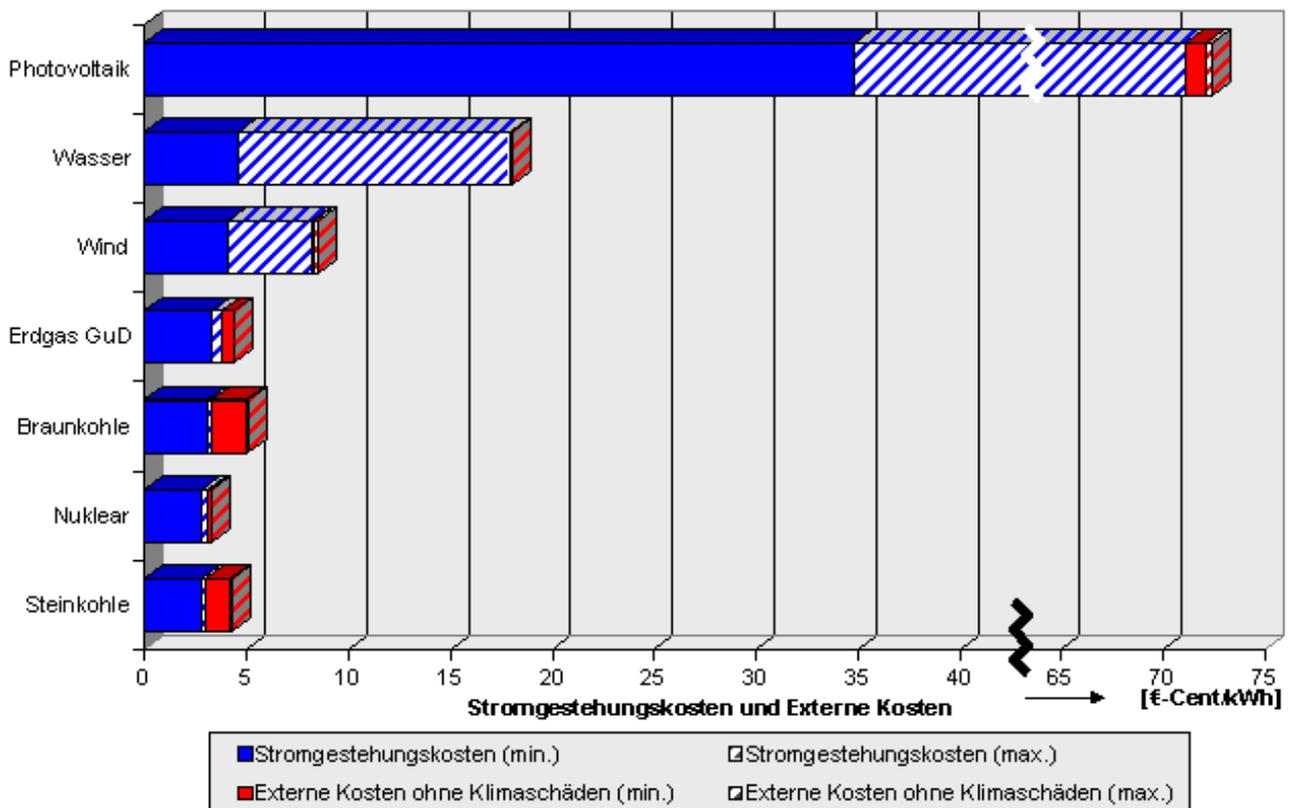


Abbildung 6: Gestehungskosten und externe Kosten der Stromerzeugung

Die Internalisierung externer Kosten verbessert die Kostenrelationen von Wind- und Wasserkraftwerken im Vergleich zu fossilen Kraftwerken.

Gleichzeitig wird aber auch deutlich, dass die Einbeziehung von Umweltexternalitäten, die Wirtschaftlichkeitsposition der Kernenergie verbessert.

Nachhaltigkeit und effizienter Klimaschutz

Die Vermeidung nicht tolerierbarer Klimaveränderungen ist eine wesentliche Komponente von „Nachhaltiger Entwicklung“.

Angesichts der bestehenden Unsicherheiten über den anthropogenen Einfluss auf das Klima aber insbesondere im Hinblick auf den Zielkonflikt von weitreichenden Klimaschutzmaßnahmen mit den ökonomischen und sozialen Zielen von Nachhaltigkeit, kommt es darauf an, das klima-ökologisch Notwendige, ökonomisch effizient zu erreichen.

Die spezifischen CO₂-Minderungskosten, also der Aufwand in EURO um eine Tonne CO₂ nicht zu emittieren, sind ein anschauliches Maß für die Effizienz von CO₂-Minderungsmöglichkeiten.

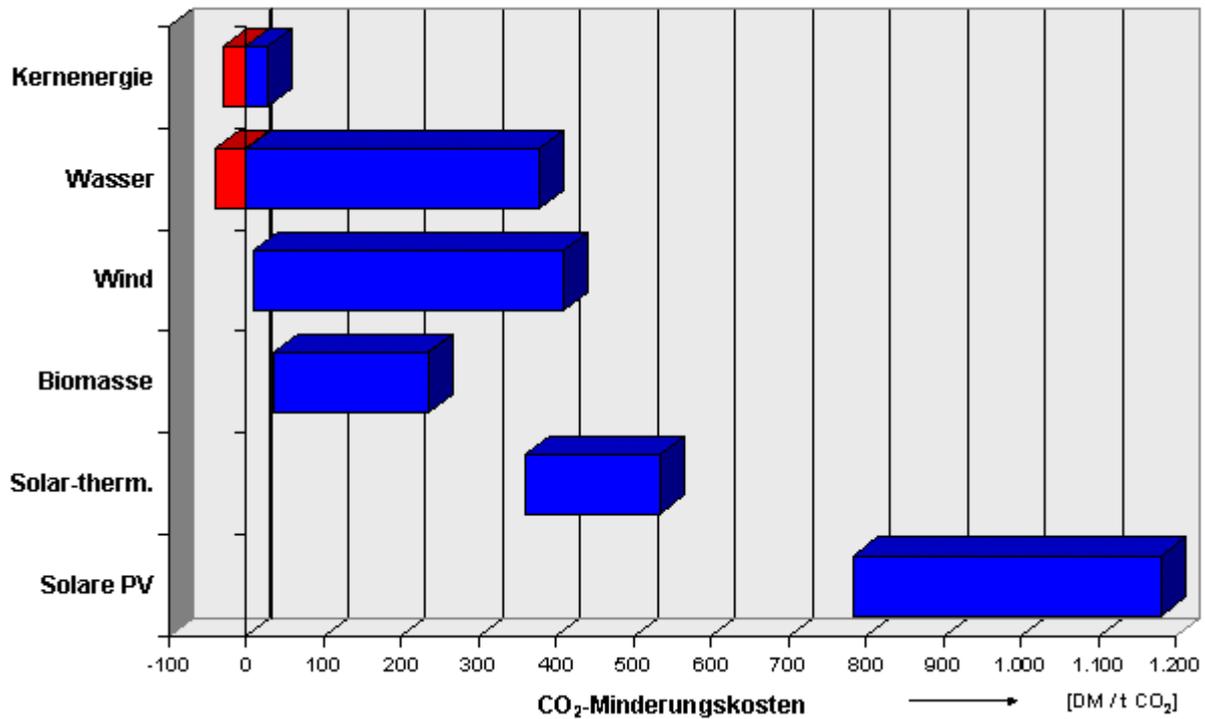


Abbildung 7: Spezifische CO₂- Minderungskosten

Neben einigen Maßnahmen zur rationellen Energieanwendung ist die Kernenergie heute die einzige verfügbare Option, die im größeren Umfang zu Minderung energiebedingter Treibhausgasemissionen beitragen kann, ohne die Verbraucher bzw. die Wirtschaft mit zusätzlichen Klimaschutzkosten zu belasten (No-Regret-Option).

Kernenergie und die Kosten des Klimaschutzes

Die zuvor diskutierten spezifischen CO₂-Minderungskosten deuten schon darauf hin, dass bei einem Verzicht auf eine weitere Nutzung der Kernenergie die Erreichung von Klimaschutzzielen wohl nur mit zusätzlichen Kostenbelastungen für die Wirtschaft und die Verbraucher zu erreichen sein wird.

Die Kosten sowie die gesamtwirtschaftlichen Folgen eines Kernenergieverzichts hängen unter anderem von der zukünftigen Wirtschaftsentwicklung, der Energieträgerpreisentwicklung auf dem Weltmärkten, den Substitutionsannahmen für die Kernenergie und nicht zuletzt von dem angestrebten Klimaschutzzielen selbst ab.

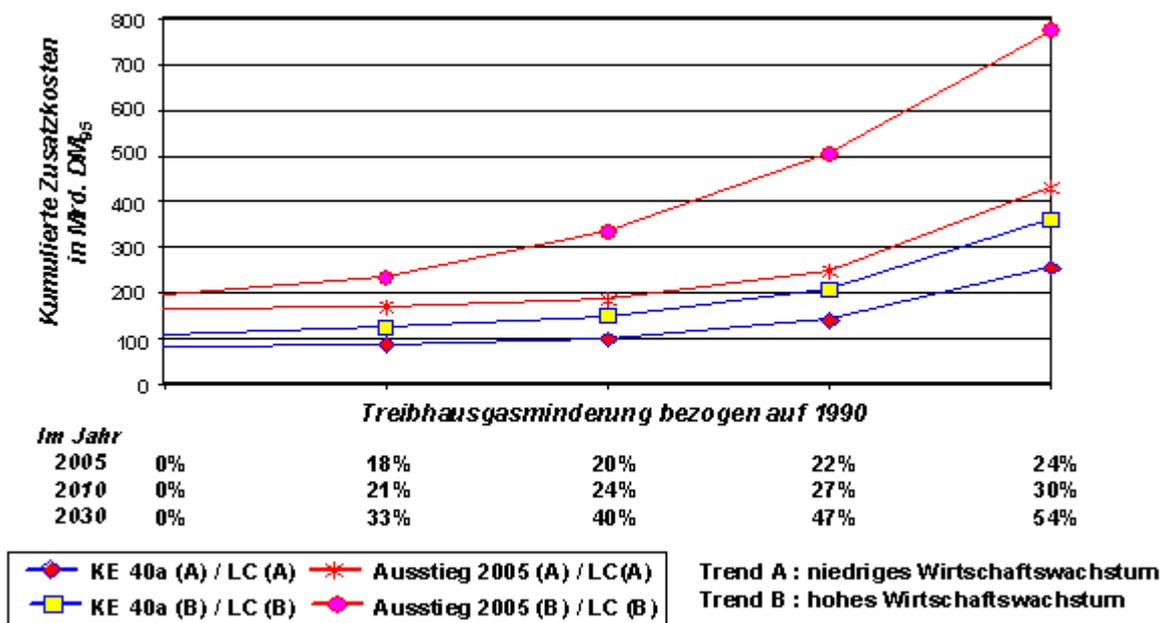


Abbildung 8: Kumulierte Zusatzkosten eines Kernenergieverzichts

In der Abbildung sind die energiecostenseitigen Folgen eines Kernenergieausstieges in Abhängigkeit von den Klimaschutzzielen dargestellt.

Dabei werden zwei wirtschaftliche Entwicklungen, die durch ein Wachstum des Bruttoinlandsproduktes von 1,8 %/a bzw. 2,3 %/a gekennzeichnet sind, betrachtet.

Für die betrachteten Ausstiegsszenarien wird unterstellt, dass sie die gleichen Klimaschutzziele, d.h. Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen erreichen sollen, und dass dabei die Substitute der Kernenergie, einschließlich der Maßnahmen zur Einsparung von Energie so ausgewählt werden, dass die Gesamtkosten der Bereitstellung von Energiedienstleistungen minimiert werden.

Bezüglich des Kernenergieausstiegs werden zwei Varianten betrachtet. Die erste Variante (KE 40a) unterstellt eine Außerbetriebnahme der existierenden Kernkraftwerke 40 Jahre nach ihrer Inbetriebnahme. In der zweiten Variante endet die Nutzung der Kernkraft mit dem Jahr 2005. Diese Ausstiegsfälle werden mit einer Entwicklung verglichen, die ohne explizite Vorgaben für die Kernenergie die Klimaschutzziele möglichst kosteneffizient erreichen soll (Szenario LC).

Die Kurven bezeichnen, jeweils für die beiden Varianten der Wirtschaftsentwicklung, die bis zum Jahr 2030 kumulierten Zusatzkosten eines Kernenergieverzichts gegenüber dem Least-Cost-Szenario.

Mit steigenden Klimaschutzzielen steigen die Kosten eines Kernenergieverzichts an. Dabei beziehen sich die Endpunkte der Kostenfunktionen auf ein Klimaschutzziel, das im Jahr 2005 dem derzeit gültigen nationalen Ziel einer Minderung von 25 % entspricht.

Klimaschutz bei Verzicht auf Kernenergie führt zu energieseitigen Zusatzkosten zwischen 100 und 770 Mrd. DM über den Zeitraum der nächsten dreißig Jahre. Die gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsverluste sind schwerer zu quantifizieren. Abschätzungen kommen zu einer Größenordnung, die doppelt so hoch wie die energieseitigen Kosten sind.

Der Energiebericht des Wirtschaftsministers nennt einen Betrag von 500 Mrd. DM an zusätzlichen direkten gesamtwirtschaftlichen Kosten, wenn bei einem Verzicht auf Kernenergie für das Jahr 2020 eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 40 % gegenüber 1990 erreicht werden soll.

Alle diese Zahlen machen den Zielkonflikt deutlich, der im Hinblick auf die beiden zentralen Elemente des Leitbildes „Nachhaltige Entwicklung“, nämlich einer weiteren wirtschaftlichen Entwicklung und dem Schutz des Klimas entsteht, wenn auf die weitere Nutzung der Kernenergie verzichtet wird.

4. Liberalisierung, Wettbewerb und Nachhaltige Entwicklung

Wenn wir unter nachhaltiger Entwicklung der Energieversorgung eine Entwicklung verstehen, die die nicht substituierbaren Funktionen von Umwelt und Natur auf Dauer erhält, die Stoffeinträge in die Umwelt entsprechend ihrer Assimilationsfähigkeit begrenzt, die technisch-wirtschaftlich nutzbare Energie- und Rohstoffbasis erweitert und mit den nicht-erneuerbaren Rohstoffen effizient und haushälterisch umgeht, um den heutigen und kommenden Generationen keine Lebens- und Entwicklungschancen vorzuenthalten, dann stellt sich natürlich die Frage, ob denn die Lenkung über den Markt, d.h. die Einführung von Wettbewerb und Deregulierung in der Energiewirtschaft der geeignete Ordnungsrahmen für eine effiziente Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung sind.

Wettbewerb und Deregulierung sind natürlich kein Selbstzweck, sondern nur Mittel zum Zweck. Ihre Nutzung im Rahmen unseres Wirtschaftens legitimiert sich nicht nur aus wirtschaftstheoretischen Überlegungen sondern insbesondere aus der praktischen Erfahrung, dass effizientes Wirtschaften nicht durch staatliche Planung und Regulierung sondern durch die Nutzung der preisgesteuerten Allokationsmechanismen von Märkten erreicht wird. Auf funktionierenden Märkten, wo sich die Knappheiten von Gütern und Ressourcen in den Preisen widerspiegeln, sorgen das eigennutzgesteuerte Verhalten der verschiedenen Marktteilnehmer dafür, dass knappe Ressourcen effizient genutzt und die Wohlfahrt maximiert werden.

Preise geben darüber hinaus auch maßgebliche Signale für Innovation, technischen Fortschritt und den Strukturwandel.

Gelegentlich wird mit Hinweis auf die Umweltbelastungen, die ja auch in Marktwirtschaften zu beobachten sind, von einem Marktversagen gesprochen. Diese Diagnose verkennt, dass Umweltbeeinträchtigungen in einer Marktwirtschaft sich aus den Besonderheiten von Umweltgütern ergeben. Diese werden zum großen Teil immer noch als freie Güter betrachtet, von deren Nutzung Einzelne nicht auszuschließen sind. Sie sind also in das Marktgeschehen gar nicht integriert und können daher durch die unsichtbare Hand des Marktes auch nicht vor einer Übernutzung geschützt werden.

Die Überbeanspruchung der Umwelt ist also die Folge fehlender Märkte für Umweltgüter. Sie führt zu negativen externen Effekten z.B. durch Schadstofffreisetzungen. Die daraus resultierenden Kosten gehen am Markt und am Verursacher vorbei und werden Dritten z.B. der Allgemeinheit oder auch den zukünftigen Generationen angelastet. Die Internalisierung dieser externen Kosten ist der Weg, die Nutzung von Umweltressourcen in das Marktgeschehen zu integrieren, und die Nutzung knapper Umweltressourcen dabei den gleichen Regeln zu unterwerfen wie die Nutzung anderer knapper Güter. Auf die verschiedenen Instrumente zur Internalisierung von Umweltkosten soll hier nicht näher eingegangen werden, es sei nur betont, dass marktkonforme Instrumente sich am Verursacherprinzip und den Knappheiten der Umweltressourcen orientieren

müssen. Zu den ordnungspolitischen Handlungsfeldern des Staates gehört es einen entsprechenden adäquaten Rahmen zu schaffen.

Diese mehr grundsätzlichen Darlegungen sollten deutlich machen, dass die Nutzung der Allokationsmechanismen von Wettbewerbsmärkten ein adäquater und zugleich effizienter Ansatz zur Verwirklichung einer nachhaltigen Entwicklung bzw. nachhaltigen Energieversorgung ist, wenn die Knappheit von Umweltgütern durch entsprechende marktkonforme Instrumente auf den Märkten wirksam wird. Zuvor wurde schon erläutert, dass Vollkosten als Maß für die Inanspruchnahme von knappen Ressourcen einschließlich der Umwelt das geeignete Kriterium für die Nachhaltigkeit von Energiesystemen ist. Auch dies spricht dafür funktionierenden Märkten die Steuerungsaufgaben auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu übertragen.

Zu der Integration der Umweltnutzung in das Marktgeschehen sei noch angemerkt, dass entsprechende Schritte der internationalen Verflechtung der Volkswirtschaften Rechnung tragen müssen. Der Wettbewerb auf offenen Märkten begrenzt diesbezügliche nationale Alleingänge sollen nicht der Verlust industrieller Produktion und von Arbeitsplätzen in Kauf genommen werden. Ein nationaler Alleingang birgt bei globalen Umweltproblemen, und um ein solches handelt es sich beim Treibhausproblem, darüber hinaus der Gefahr von ökologisch kontraproduktiven Wirkungen, wenn nationale Maßnahmen Umweltdumping zur Folge haben und die inländischen Reduktion von Schadstoffemissionen als Folge von Produktionsverlagerungen in Ausland mehr als wett gemacht werden. Damit wäre

weder der Umwelt noch dem Wirtschaftsstandort Deutschland gedient sondern nur Arbeitsplätze exportiert worden.

Im Zusammenhang mit der Liberalisierung der Strommärkte wird gelegentlich auch von Vertretern aus der Energiewirtschaft die Auffassung vertreten, dass in wettbewerblichen Strommärkten kapitalintensive Erzeugungstechnologien wie die Kernenergie, auf Grund der hohen Kapitalbindung keine Chancen haben. Im Hinblick auf die Marktpreisrisiken seien wenig kapitalintensive Kraftwerke, die zu dem noch schnell errichtet werden können, zu bevorzugen, was für die Nutzung von Gaskraftwerken spricht.

Ich denke, dass ist eine wenig fundierte Schlussfolgerung, die den Prinzipien der Preisbildung und Ressourcenallokation wettbewerblicher Märkte nicht ausreichend Rechnung trägt.

In einem liberalisierten wettbewerblichen Strommarkt werden die Marktpreise weitestgehend durch die spezifischen Grenzkosten der letzten noch zur Deckung der aktuellen Nachfrage benötigten Erzeugungseinheit determiniert. Alle anderen Erzeuger mit geringeren Grenzerzeugungskosten erhalten diesen Preis für ihre Lieferungen. Die zeitlich schwankenden Marktpreise determinieren damit die für die einzelnen Kraftwerke verbleibenden Deckungsbeiträge für die fixen Betriebskosten und die Kapitalkosten. Über den Einsatz bzw. die Einsatzdauer der Kraftwerke entscheiden also deren kurzfristige Erzeugungsgrenzkosten, d.h. im wesentlichen deren variable Betriebskosten, nicht jedoch ihre Vollkosten.

Aus diesem Grund haben Kraftwerke mit geringen Brennstoffkosten, wie die Kernkraftwerke, günstige Voraussetzungen, sich in einem Markt mit volatilen, zeitvariablen Strompreisen zu behaupten und können durchaus eine schnellere Amortisation des eingesetzten Kapitals erreichen als weniger kapitalintensive Kraftwerke. Das wachsende Interesse an den Kernkraftwerken in den USA resultiert aus diesen ökonomischen Sachverhalten. Klammert man die politischen Risiken einmal aus, so sind die Aussichten für Kernkraftwerke sich im Wettbewerb zu behaupten als eher günstig zu bezeichnen. Verschärfte Klimaschutzanforderungen werden die Wettbewerbsposition weiter verbessern.

5. Schlussbetrachtungen

Eine auf Nachhaltigkeit abzielende Entwicklung heißt im Kern, den kommenden Generationen keine Lebens- und Entwicklungschancen vorzuenthalten. Dazu sind die Produktivität und der immaterielle Wert von Natur und Umwelt auf Dauer zu erhalten. Das ökonomische Effizienzprinzip des sorgsamem Umganges mit allen Ressourcen weist uns den Weg zur Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung. Dem durch Wissenszuwachs möglichen technischen Fortschritt, der einerseits zur Erweiterung der technisch-wirtschaftlich verfügbaren Rohstoff- und Energiebasis beiträgt und andererseits eine zunehmende Entkopplung von wirtschaftlicher Entwicklung, Ressourcenverbrauch und Umweltinanspruchnahme ermöglicht, kommt für eine nachhaltige Ausgestaltung der Energieversorgung eine Schlüsselrolle zu. Die Kernenergie ist bei Abwägung der verschiedenen Nachhaltigkeitskriterien eine Energieversorgungsoption, die den Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung gangbar macht.

Die Nutzung begrenzter Energievorräte ist mit dem Leitbild der Nachhaltigkeit so lange vereinbar, wie es gelingt, den nachfolgenden Generationen eine mindestens gleich große technisch-wirtschaftlich nutzbare Energiebasis verfügbar zu machen. Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung kommt den Energiesystemen eine besondere Bedeutung zu, die arbeitsfähige Energie zu möglichst geringen Vollkosten bereitstellen können. Ein marktwirtschaftlicher Ordnungsrahmen ist bei einer Internalisierung der Knappheit von Umweltgütern ein effizienter Rahmen zur Verwirklichung einer nachhaltigen Entwicklung.

Die Bewältigung der vor uns liegenden Herausforderungen ist dabei gerade im Energiebereich weniger eine Frage fehlender technischer Problemlösungen, sondern sie ist, gerade in unserem Land, primär eine Frage der Entideologisierung ökonomischer, ökologischer und technischer Sachverhalte und einer in sich stimmigen Energiepolitik, also eine politische Aufgabe. Das energiepolitische Dilemma in unserem Land besteht zu einem Gutteil darin, dass wesentliche naturwissenschaftlich-technische und ökonomische Sachverhalte zur Fundierung einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Energiepolitik nicht zur Kenntnis genommen werden. Auf Dauer ist aber eine Energiepolitik gegen „Adam Riese“ nicht möglich.

Der berühmte Staatsmann David Lloyd George hat einmal gesagt: „Jede Generation hat ihren Tagesmarsch auf der Straße des Fortschritts zu vollenden. Eine Generation, die auf dem schon gewonnenen Grund wieder rückwärts schreitet, verdoppelt den Marsch für ihre Kinder“. Wir sollten unseren Kindern dies ersparen.