

# **Liberalisierung und nachhaltige Energieversorgung: Perspektiven der Kernenergie und der erneuerbaren Energien**

*Alfred Voß*

*Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung  
Universität Stuttgart*

ILK-Symposium „Chancen und Risiken der Kernenergie“  
Baden-Baden, 26./27. April 2001  
Vortrag ILK-Symposium Bühler Höhe

## **1. Einleitung**

Ich sage Ihnen sicher nichts Neues, wenn ich feststelle, dass die Perspektiven der Kernenergie und der erneuerbaren Energiequellen in unserem Land über mehrere Dekaden hinweg kontrovers und vorurteilsbehaftet diskutiert werden. Mit dem Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung, das in den letzten Jahren als normatives Entwicklungskonzept eine herausragende Stellung erlangt hat, und mit der Liberalisierung der Energiewirtschaft, d.h. ihrer Deregulierung und der Einführung von Wettbewerb, sind aber neue Paradigmen in den Vordergrund getreten, die Anlaß genug sein sollten, die Kernenergie und erneuerbaren Energien einer vorurteilsfreien Neubewertung zu unterziehen, obwohl in der aktuellen energiepolitischen Diskussion Ansätze dafür nicht zu erkennen sind.

Ich möchte im Folgenden einen diesbezüglichen Versuch machen. Dabei geht es nicht um technische, ökologische oder wirtschaftliche Einzelaspekte der verschiedenen Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien bzw. der Kernenergie, sondern es geht um grundsätzliche Überlegungen, die Einordnungen und Orientierungen ermöglichen sollen.

Ich will zunächst das Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung hinsichtlich der Energieversorgung präzisieren und die verschiedenen Energieversorgungsoptionen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeitsbeiträge einordnen. Im Anschluß daran will ich mich dann der Frage zuwenden, ob die Lenkung über den Markt ein geeigneter Ordnungsrahmen für die Realisierung einer nachhaltigen Energieversorgung ist und die Position der hier zur Diskussion stehenden Energieversorgungsoptionen im Wettbewerb ansprechen.

## 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 Fundierung als auch hinsichtlich ihrer abgeleiteten Handlungsziele bzw. Handlungsanweisungen - dies gilt gerade für den Energiebereich - eine große Bandbreite auf. 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.

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.

Ziel einer nachhaltigen Entwicklung ist es also, den kommenden Generationen ein Erbe zu hinterlassen, das ihnen ermöglicht, ihr Leben nach eigenen Vorstellungen und Wünschen zu gestalten und dabei auf mindestens das gleiche Potential an Möglichkeiten zurückgreifen zu können, wie wir es tun konnten. Oder anders ausgedrückt, nachhaltige Entwicklung meint 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.

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. Diese Offenheit und Unbestimmtheit läßt Spielraum für unterschiedliche Konkretisierungen und Interpretationen.

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 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 Energieresourcen 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 nachkommenden 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 Umweltbelastun-

gen 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 nichtenergetische 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 Lösung. Dieses Verständnis von Kosten, so scheint mir, ist in der Energiediskussion weitgehend verlorengegangen.

Gegen Kosten als Bewertungskriterium 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.

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".

### 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 Brennstoffs, um eine kWh Elektrizität bereitzustellen. Für die Windenergie liegt er im Bereich von 7 %. 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 4 - 7 % 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 von Stromerzeugungssystemen

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

## Materialaufwand

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.

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.

**Tabelle 2:** Gesamter Rohstoff- und Materialaufwand von Stromerzeugungssystemen

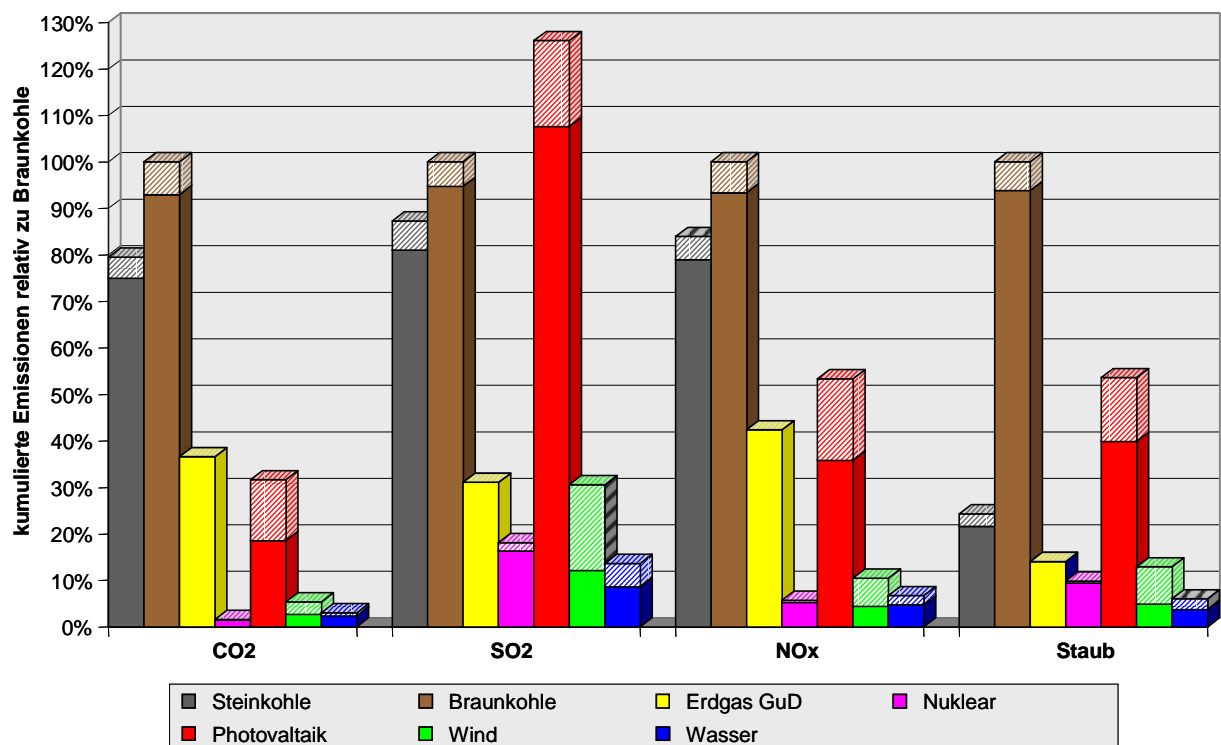
	<b>Eisen</b> [kg / GWh <sub>el</sub> ]	<b>Kupfer</b> [kg / GWh <sub>el</sub> ]	<b>Bauxit</b> [kg / GWh <sub>el</sub> ]
<b>Steinkohle D</b>	1.750 - 2310	2	16 - 20
<b>Braunkohle</b>	2.100 - 2.170	7 - 8	18 - 19
<b>Erdgas GuD</b>	1.207	3	28
<b>Nuklear</b>	420 - 490	6 - 7	27 - 30
<b>Photovoltaik</b>	3.690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

## Kumulierte Emissionen

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

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 CO<sub>2</sub> 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.



**Abbildung 1:** Kumulierte Emissionen von Stromerzeugungssystemen

## Gesundheitsrisiken

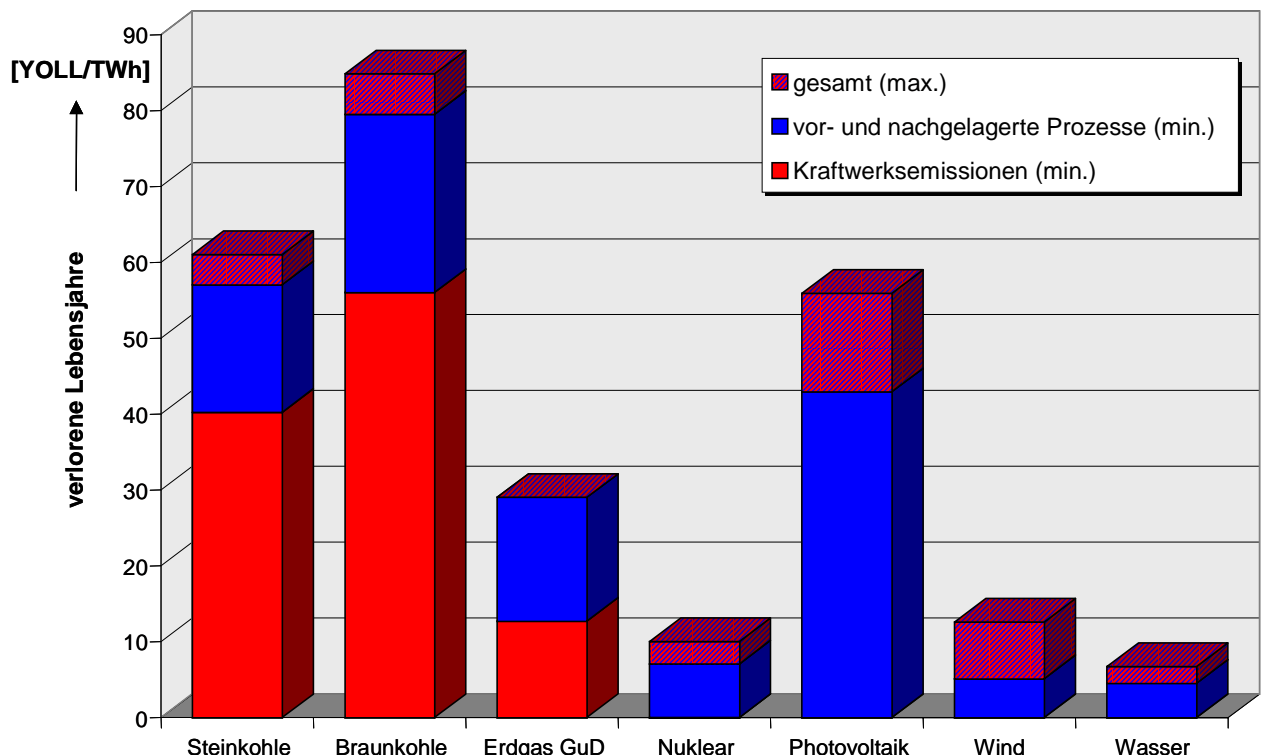
Die Stromerzeugung mittels fossiler oder nuklearer sowie aus erneubaren Energien ist mit direkten oder indirekten Emissionen von Luftschadstoffen bzw. Belastungen durch ionisierende Strahlung verbunden, die zu Gesundheitseffekten führen können.

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

In Abbildung 2 ist das durch die hier betrachteten Stromerzeugungstechniken verursachte zusätzliche Sterblichkeitsrisiko, ausgedrückt als verlorene Lebensjahre je TWh, dargestellt.

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.



**Abbildung 2:** Durchschnittliche spezifische Gesundheitsrisiken von Stromerzeugungssystemen für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

## 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 Tabelle 3 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 alternativen Bewertungsansätzen resultiert.

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

**Tabelle 3:** Durchschnittliche spezifische Externe Kosten verschiedener Stromerzeugungssysteme für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

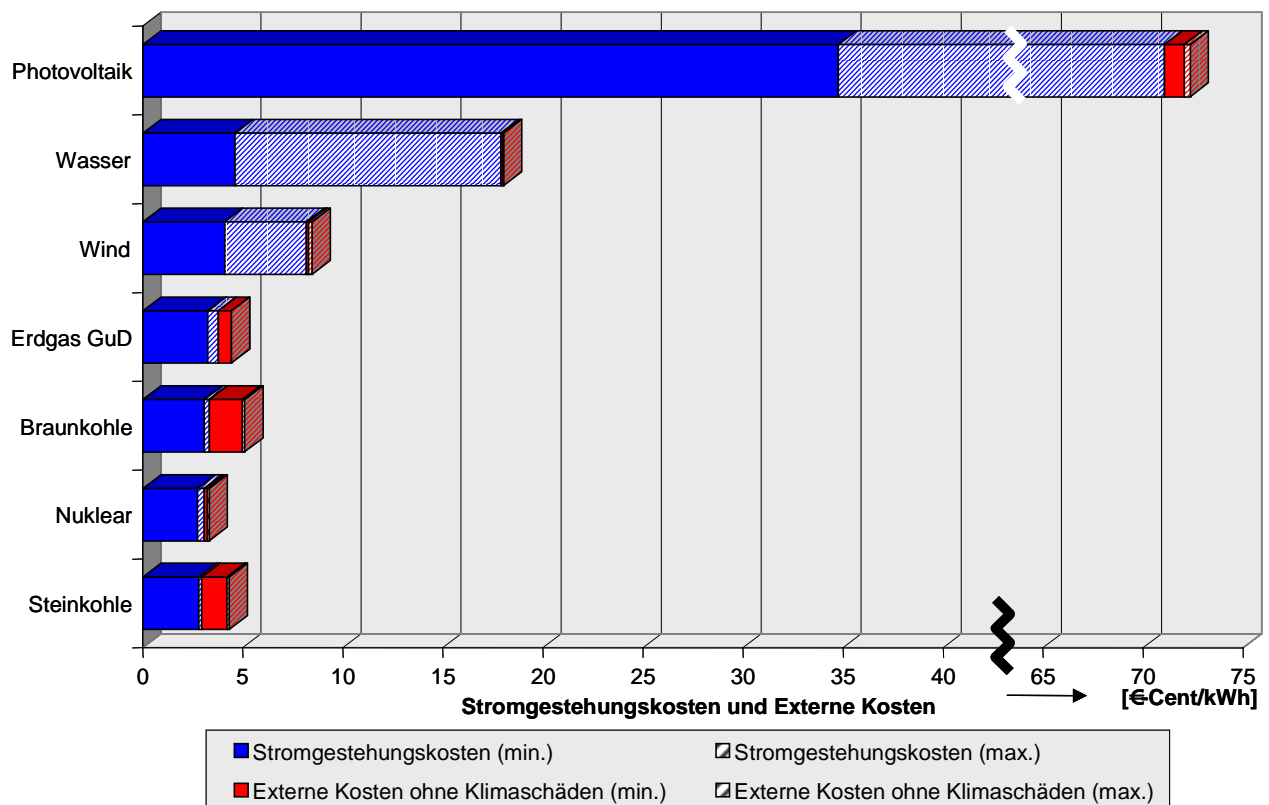
[€/Cent/kWh]	Steinkohle	Braunkohle	Erdgas GuD	Nuklear	Photovoltaik	Wind	Wasser
<b>Schadenskosten<sup>1)</sup></b>							
Gesundheit	0,81 - 0,87	1,13 - 1,20	0,41	0,10 - 0,11	0,61 - 0,79	0,07 - 0,18	0,06 - 0,10
Getreide	0,01 - 0,02	-0,002	0,031	0,000	-0,003	-0,001	0,000
Material	0,01	0,01 - 0,02	0,006	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
<b>Vermeidungskosten<sup>2)</sup></b>							
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
<b>Gesamt</b>	<b>1,45 - 2,96</b>	<b>1,89 - 3,77</b>	<b>0,74 - 1,38</b>	<b>0,16 - 0,29</b>	<b>1,05 - 1,92</b>	<b>0,13 - 0,40</b>	<b>0,11 - 0,21</b>
<sup>1)</sup> durchschnittliche spezifische Schadenskosten für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland <sup>2)</sup> nach Standard-Preis-Ansatz							

## 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 3 dargestellten Stromgestehungskosten weisen aus, daß die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit höheren, im Fall der Photovoltaik sogar deutlich höheren Kosten verbunden ist, als die aus fossilen und nuklearen Kraftwerken.

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.



**Abbildung 3:** Gestehungskosten und Externe Kosten der Stromerzeugung

#### **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 ist.

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 Reduktionen von Schadstoffemissionen als Folge von Produktionsverlagerungen ins 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 Funktionsprinzipien 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 wenig 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.

Auf die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Zusammenhang mit der Liberalisierung der Strommärkte bin ich nicht eingegangen, weil sie sich, bis auf die Stromerzeugung aus Wasserkraft, im Wettbewerb derzeit und sicher auch in der mittelfristigen Zukunft nicht behaupten können. Dies ist ja auch der eigentliche Grund für die massive Subventionierung dieser Techniken im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes.

## 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.

## Literatur

Hauff, V. (Hrsg.): Unsere gemeinsame Zukunft: Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven (1987)

Voß, A.: Leitbild und Wege einer umwelt- und klimaverträglichen Energieversorgung, in: H.G. Brauch (Hrsg.) Energiepolitik, Springer Verlag (1997)

Krewitt, W.; Hurley, F.; Trukenmüller, A.; Friedrich, R.: Health Risks of Energy Systems, in: Risk Analysis, Vol. 18 (1998) Nr. 4, S. 377 – 383

Friedrich, R.; Krewitt, W.: Externe Kosten der Stromerzeugung, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 48. Jg. (1998) Heft 12, S. 789 – 794

Voß, A.; Greßmann, A.: Leitbild „Nachhaltige Entwicklung“- Bedeutung für die Energieversorgung, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 48. Jg. (1998) Heft 8, S. 486 – 491

Knizia, K.: Kreativität, Energie und Entropie: Gedanken gegen den Zeitgeist, ECON Verlag (1992)