

## **Nachhaltige Entwicklung ohne Kernenergie?**

**Prof. Dr.-Ing. A. Voß,  
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung,  
Universität Stuttgart**

*DAtF Wintertagung 1999*

*26.-27. Januar 1999, Bonn*

### **1. Einleitung**

Das Leitbild einer "Nachhaltigen Entwicklung" (sustainable development) hat in den letzten Jahren eine erstaunliche Karriere gemacht. Seit der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio 1992 ist das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung das zentrale Leitbild der internationalen umwelt-, wirtschafts- und entwicklungspolitischen Diskussion, das wirtschaftliche Entwicklung zur Überwindung von Hunger und Armut und die Schaffung humaner Lebensbedingungen sowie den Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen miteinander verbinden will. Fünf Jahre zuvor hatte die "Weltkommission für Umwelt und Entwicklung" (WCED), nach ihrer Vorsitzenden auch Brundtland-Kommission genannt, mit ihrem Bericht "Unsere gemeinsame Zukunft" den Weg hierfür bereitet. Sie stellte den Begriff "sustainable development" ins Zentrum ihrer Aussagen für einen Entwicklungspfad, der weitere wirtschaftliche Entwicklung und die Nutzung der natürlichen Ressourcen so verknüpft, daß den kommenden Generationen keine Lebens- und Entfaltungschancen vorenthalten werden.

Auch in die energiepolitische und energiewirtschaftliche Diskussion hat das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung mittlerweile verstärkt Eingang gefunden. So z.B. betont auch die neue Bundesregierung, daß ihre Energiepolitik sich am Leitbild der Nachhaltigkeit orientiert. Sie bezeichnet den Ausstieg aus der Kernenergie als Einstieg in eine "nachhaltige, das heißt wirtschaftlich leistungsfähige, sozial gerechte und ökologisch verträgliche Entwicklung".

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. Aus diesem Grund erscheint es, auch wegen der essentiellen Bedeutung, die der Energieversorgung für eine nachhaltige Entwicklung zukommt, notwendig, sich über die Konkretisierung des Leitbildes zu verständigen, um die Energieversorgungsoptionen, aber auch die energiepolitischen Vorstellungen diesbezüglich einordnen zu können.

## **2. Nachhaltigkeitskonzepte - eine kritische Würdigung**

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 Tragkapazität und den immateriellen Wert von Umwelt und Natur auf Dauer erhält, und nach weiterer wirtschaftlicher 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. Auch wenn diese Definition vor dem Hintergrund der Umwelt- und Armutprobleme entstanden ist, so stellt sie doch eine ethisch motivierte Norm dar, die sich aus Gerechtigkeitsüberlegungen gegenüber künftigen Generationen ableitet.

Ziel einer nachhaltigen Entwicklung ist es also, den nachkommenden Generationen einen Bestand an natürlichen Ressourcen zu hinterlassen, der ihnen die Befriedigung ihrer Bedürfnisse entsprechend unserem heutigen Niveau erlaubt.

Diese allgemeine Definition von Nachhaltigkeit, die für viele zustimmungsfähig ist, sagt aber noch wenig darüber aus, worauf es bei der Gewährleistung der Befriedigung der Bedürfnisse künftiger Generationen konkret, z. B. in Bezug auf die Energieversorgung, ankommt. Diese Offenheit und Unbestimmtheit läßt Spielraum für unterschiedliche Konkretisierungen und Interpretationen.

Die Fragen der Nachhaltigkeit sind von verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen in den letzten Jahren aufgegriffen worden. Insbesondere im Bereich der Wirtschaftswissenschaften sind in den vergangenen Jahren verschiedene Konzepte der intergenerationalen Nachhaltigkeit diskutiert worden, die unterschiedliche theoretische Fundierungen und Problemsichtweisen zur Grundlage haben.

Ein wesentliches Element des neoklassischen Ansatzes, der sogenannten "weak sustainability", ist das Substitutionsparadigma, demgemäß die Elemente des natürlichen Kapitalstocks (erneuerbare und erschöpfliche Ressourcen, assimilative und lebenserhaltende Funktionen der Natur) weitestgehend durch künstli-

ches Kapital (man-made capital) ersetzt werden können. Um ein intergenerational nicht sinkendes Wohlfahrtsniveau zu gewährleisten, muß deshalb der gesamte produktive Kapitalstock über die Zeit mindestens konstant bleiben, d. h. eine Abnahme des Naturkapitals muß durch eine entsprechende Zunahme des Sachkapitalstocks kompensiert werden.

Nachhaltigkeitskonzepte, die der Schule der ökologischen Ökonomie zuzurechnen sind und als "strong sustainability" bezeichnet werden, räumen den ökologisch als notwendig angesehenen Begrenzungen Vorrang vor den Präferenzen der Wirtschaftssubjekte ein. Sie postulieren eine weitgehende Komplementarität von Natur- und Sachkapital, d. h. eine Substituierbarkeit von Naturkapital durch künstliches Kapital wird in weiten Bereichen ausgeschlossen. Als Argumente werden die Begrenztheit der natürlichen Ressourcen, die nicht substituierbaren Funktionen der Natur und die Unsicherheit und Irreversibilität von Auswirkungen auf ökologische Systeme angeführt. Wenn also der natürliche Kapitalstock für den Produktionsprozeß nur begrenzt substituierbar ist, folgt daraus, daß das Naturkapital erhalten werden muß (Konstanz des Naturkapitals).

Diese von einigen Vertretern der ökologischen Ökonomik propagierte strenge Nachhaltigkeit erscheint bei näherer Betrachtung ebenso wenig realitätsbezogen wie die Annahme einer unbeschränkten Substitutionsmöglichkeit der Funktionen von Umwelt und Natur. Beiden Konzepten ist aber gemein, daß die verwendeten Begriffskategorien Naturkapital und künstliches bzw. Sachkapital so abstrakt und undifferenziert sind, daß sie für eine sachgerechte Operationalisierung wenig geeignet sind. Dabei suggeriert insbesondere der Begriff des Naturkapitals eine Homogenität, die den unterschiedlichen Funktionen von Natur - ihrer Ressourcenfunktion für den Wirtschaftsprozess, ihrer Assimilations- und Depositionsfunktion, ihren lebenserhaltenden Funktionen (z. B. Atemluft) und ihren immateriellen Werten - nicht Rechnung trägt.

Die Frage der Substituierbarkeit bzw. Nichtsubstituierbarkeit von Naturkapital kann sinnvoll nur mit Blick auf die jeweiligen Funktionen beantwortet werden. Bezogen auf die Ressourcen- und Senkenfunktion von Umwelt und Natur kommt es für eine nachhaltige Entwicklung darauf an, die Kontinuität in der Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen sowie den Erhalt der Aufnahmekapazität der Biosphäre für anthropogen ausgelöste Stoffströme in einem Maße zu gewährleisten, daß auch künftige Generationen mindestens ein ähnliches Wohlfahrtsniveau erzielen können wie die heutige Generation.

Entsprechend diesem Verständnis von 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" 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. nicht energetischen Rohstoffen und Materialien verbunden, deren Vorräte 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 in 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. Bezogen auf die Ressourcenfunktion 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.

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.

Was nun die Inanspruchnahme der Senkenfunktion der 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 der bei weitem größte Entropiegenerator, weil nahezu die gesamte Energie der Sonne nach ihrer Entwertung als Wärme bei Umgebungstemperatur in den Welt- raum 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 Stoff- freisetzungen 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 Arbeitsfähigkeit (Energie) und sinkende Umwelt- und Klimabelastungen sind somit kein Widerspruch. Die Stofffreiset- zungen nicht die Energieströme müssen begrenzt werden.

Die effiziente Nutzung aller Ressourcen, die sich aus dem Leitbild Nachhaltig- keit ableitet, entspricht aber auch dem allgemeinen ökonomischen Prinzip. Aus beiden folgt, daß ein Energiesystem oder eine Energiewandlungskette zur Be- reitstellung 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. 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. Hieraus läßt sich die Folgerung ziehen, daß Kosten - und zwar im Sinne von Vollkosten, die externe Effekte mit erfassen und berücksichtigen - das derzeit beste Maß für die Inanspruchnahme knapper Ressourcen sind. Somit sind sie auch ein geeignetes Maß für die Beurteilung von Energietechniken im Hinblick auf das Leitbild der Nachhaltigkeit, und es wäre angebracht, daß ihnen in dieser Funktion wieder ein größerer Stellenwert in der energiepolitischen Diskussion zuteil wird.

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. Energiesysteme - Ein erster Vergleich mit Blick auf die Nachhaltigkeit**

Mit Bezug auf die zuvor erläuterten Konkretisierungen des Leitbildes "nachhaltige Entwicklung", sollen im folgenden nun einige Stromerzeugungstechniken bezüglich ihrer Nachhaltigkeit, d.h. Ressourceninanspruchnahme



verglichen werden. Angesichts des derzeitigen Kenntnisstandes handelt es sich nicht um einen vollständigen und umfassenden Vergleich der aus Sicht der Nachhaltigkeit wichtigen Ressourcenintensitäten, sondern um einen ersten, in seinen Aussagen begrenzten Vergleich ausgewählter Ressourcennutzungsaspekte. Es werden Ergebnisse von Material-, Energie- und Stoffbilanzen erläutert, die alle Stufen und Prozesse, die für die Energiebereitstellung notwendig sind, erfassen. 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 Kraftwerke. Die exemplarischen Betrachtungen beschränken sich auf Stromerzeugungssysteme, die dem derzeitigen Stand der Technik entsprechen und mit den 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 11 bis 17 %. Bei der Steinkohle und beim Erdgas ist er deutlich höher und wird wesentlich durch den Energieaufwand für die Gewinnung, Aufbereitung und den Transport des Brennstoffs bestimmt. Für die Kernenergie und die Wasserkraft ist er im Bereich von 5 bis 9 %, und für die Photovoltaik liegt er derzeit noch um einen Faktor 10 höher. Dies schlägt sich dann auch in der energetischen Amorti-

sationszeit nieder, die derzeit bei der Photovoltaik etwa 5 bis 7 Jahre beträgt, und damit deutlich größer als bei allen anderen Systemen ist.

**Tabelle 1:** Lebensweganalyse: Kumulierter Primärenergieaufwand und Amortisationszeiten

	kumulierter Primärenergieaufwand in kWh <sub>prim</sub> / kWh <sub>el</sub>	Amortisationszeit in Monaten
Photovoltaik <sup>1</sup>	0,62 - 0,84	61 - 88
Wasserkraft	0,04 - 0,09	7 - 13
Windkraft <sup>2</sup>	0,11 - 0,17	8 - 13
Steinkohle	0,3 <sup>3</sup>	4
Braunkohle	0,23 <sup>3</sup>	4
Erdgas	0,26 <sup>3</sup>	2
Kernenergie	0,07 <sup>3</sup>	3

<sup>1</sup> monokristallin, amorph; <sup>2</sup> mittlere Windgeschw. 4,5 m/s; <sup>3</sup> ohne Brenstoffeinsatz im Kraftwerk

### Rohstoffaufwand

Tabelle 2 zeigt für ausgewählte Materialien die Ressourcenintensität der hier betrachteten Stromerzeugungssysteme. Erfasst ist der jeweilige Rohstoffaufwand für den Bau des Kraftwerks sowie für alle Prozessschritte zur Bereitstellung des Brennstoffs. Die Tabelle erfasst nur einen kleinen Teil der mineralischen Rohstoffe, 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. Diesem 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:** Lebensweganalyse: Ressourcenaufwand

	Eisenerz in kg/GWh <sub>el</sub>	Kupfererz in kg/GWh <sub>el</sub>	Bauxit in kg/GWh <sub>el</sub>
Photovoltaik <sup>1</sup>	4 162 - 40 569	218 - 514	257 - 4 772
Wasserkraft	1 510 - 2 768	10 - 13	16 - 19
Windkraft <sup>2</sup>	5 155 - 10 798	91 - 204	213 - 529
Steinkohle	2 509	19	50
Braunkohle	952	25	28
Erdgas	1 813	12	33
Kernkraft	501	2,3	29

<sup>1</sup> monokristallin, amorph; <sup>2</sup> mittlere Windgeschw. 4,5 m/s

### Emissionen (Stofffreisetzungen)

In Tabelle 3 sind die kumulierten, über den gesamten Lebensweg aufsummierten Emissionen ausgewählter Schadstoffe der hier betrachteten Stromerzeugungssysteme gegenübergestellt. Bei den hier erfaßten gasförmigen Schadstoffen 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 35 - 45 % 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.

**Tabelle 3:** Lebensweganalysen: Emissionen

	SO <sub>2</sub> in kg/GWh <sub>el</sub>	NO <sub>x</sub> in kg/GWh <sub>el</sub>	CO <sub>2</sub> in t/GWh <sub>el</sub>
Photovoltaik <sup>1</sup>	239 - 329	246 - 286	141 - 183
Wasserkraft	20 - 36	31 - 56	12 - 20
Windkraft <sup>2</sup>	64 - 104	47 - 92	24 - 39
Steinkohle	755	728	844
Braunkohle	795	686	1 027
Erdgas	228	489	424
Kernenergie	37	35	11

<sup>1</sup> monokristallin, amorph; <sup>2</sup> mittlere Windgeschw. 4,5 m/s

### Risiken für das menschliche Leben und die Gesundheit

Abbildung 1 zeigt die Risiken, ermittelt über alle Aktivitäten, die ursächlich mit der Bereitstellung einer Milliarde kWh Strom durch verschiedene Stromerzeugungstechniken verbunden sind. Die Zahlen schließen natürlich die Risiken von Unfällen, auch von Kernkraftwerksunfällen mit ein.

Die gesundheitlichen Risiken der Nutzung von Stein- und Braunkohle sind vergleichsweise hoch. Die mit der Nutzung der Photovoltaik verbundenen Risiken, resultierend aus allen für die Herstellung der Anlage notwendigen Aktivitäten, sind etwa halb so hoch und damit größer als die des Erdgases. Kernenergie und die Windenergienutzung weisen die geringsten Risiken auf.

Wenn man bedenkt, daß bei zukünftigen weiterentwickelten Kernkraftwerken, die Risiken aus größeren Unfällen, d.h. mit größeren Schadenskonsequenzen praktisch ausgeschlossen werden können, dann werfen diese Ergebnisse natürlich die Frage auf, auf welche Faktengrundlage die neue Bundesregierung sich bezieht, wenn sie die angestrebte Beendigung der Kernenergienutzung mit ihren "großen Sicherheitsrisiken" begründet.

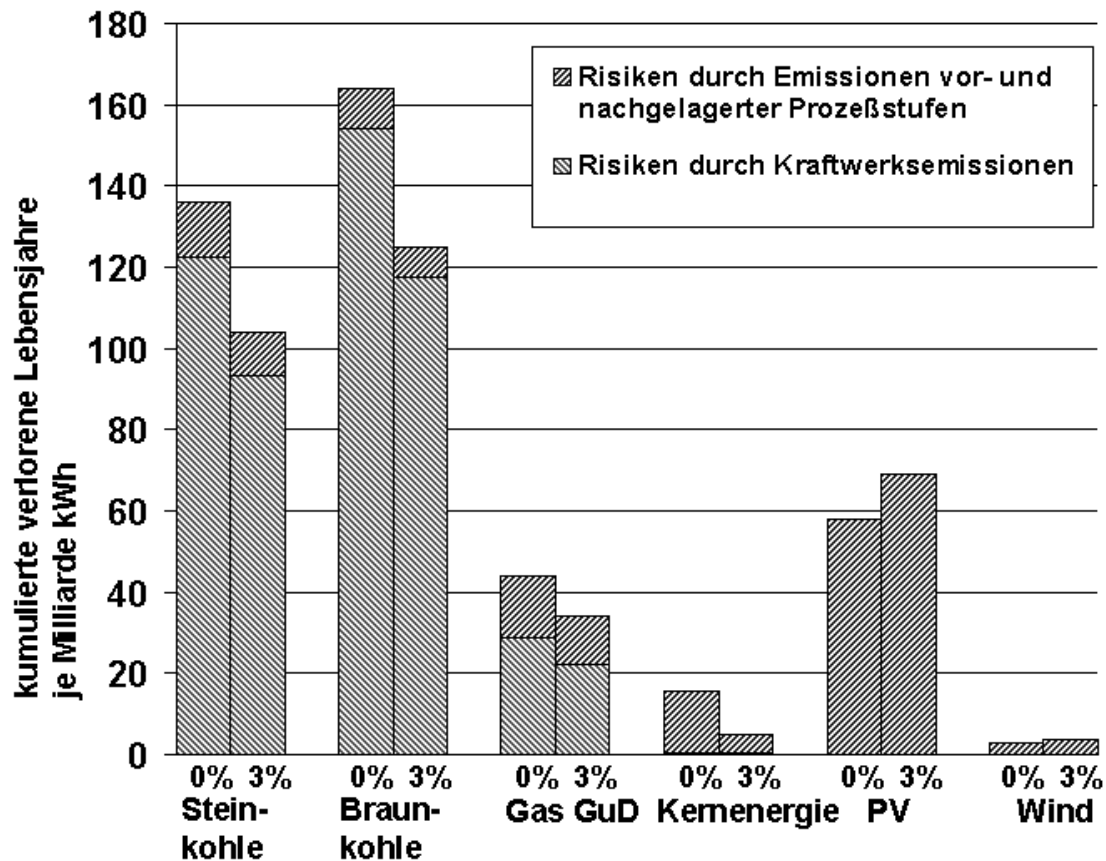
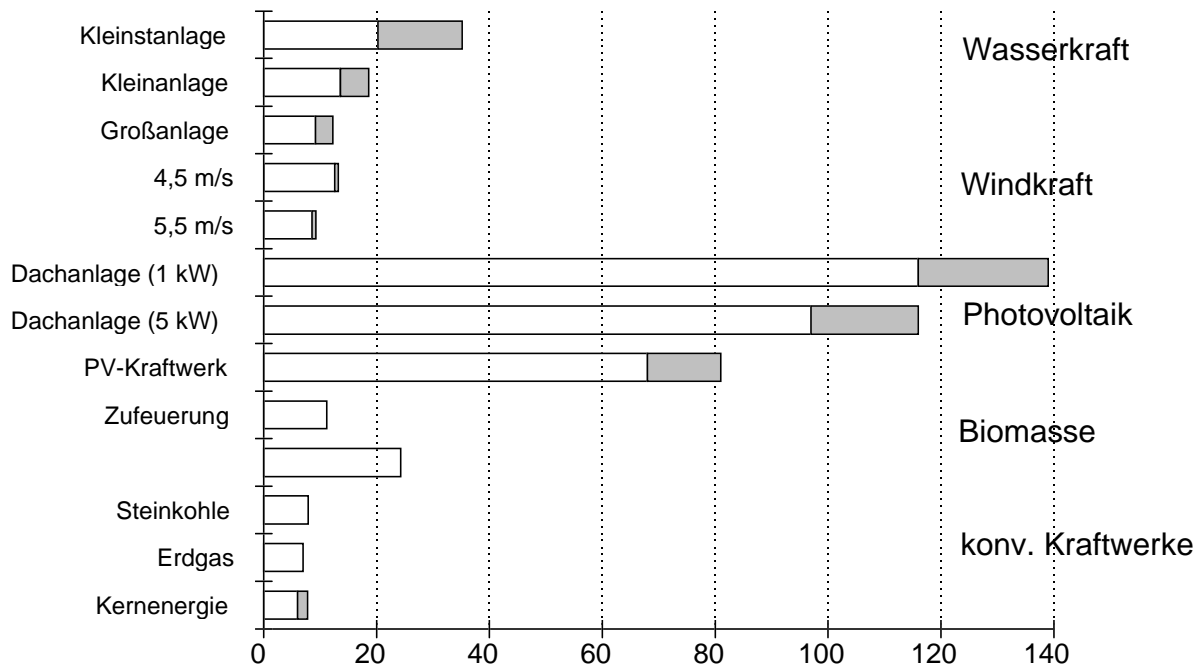


Abbildung 1: Gesundheitsrisiken verschiedener Stromerzeugungstechnologien

### Kosten: Stromgestehungskosten

Zuvor wurde bereits erwähnt, daß Kosten ein adäquates Maß für die Inanspruchnahme knapper Ressourcen sind. Vor diesem Hintergrund ist dann auch verständlich, daß ein hoher Rohstoff- und Energieaufwand sich in hohen Kosten niederschlägt. Die in Abbildung 2 aufgeführten Stromerzeugungskosten weisen aus, daß die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit höheren, im Falle der Photovoltaik sogar deutlich höheren Kosten verbunden ist als die aus fossilen oder nuklearen Kraftwerken. Allerdings enthalten diese derzeitigen Stromgestehungskosten noch nicht die sogenannten externen Kosten. Hierunter sind diejenigen Kosten zu verstehen, mit denen nicht der Verursacher, sondern unbeteiligte Dritte belastet werden. Die externen Kosten sind aber im Rahmen eines hier angestrebten Vergleichs der Ressourceninanspruchnahme verschiedener Energiesysteme notwendigerweise mit einzubeziehen.



**Abbildung 2:** Stromgestehungskosten verschiedener Erzeugungsanlagen

### Externe Kosten

Die in Tabelle 4 aufgeführten, aus heutiger Sicht quantifizierbaren externen Kosten erfassen die Gesundheitsauswirkungen, die Schäden an Feldpflanzen sowie Materialschäden und lärmbedingte Belastungen für den Normalbetrieb wie auch für Unfälle. Nicht erfaßt sind die externen Kosten einer möglichen Klima- veränderung durch die Anreicherung von Spurengasen (vor allem CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre, die derzeit kaum quantifizierbar sind. Diese nach derzeitigem Wissensstand quantifizierbaren externen Kosten sind deutlich geringer als die Werte, die vor einigen Jahren in die Diskussion gebracht wurden und Aufmerksamkeit erregten. Sie machen nur einen Bruchteil der Kosten aus Investition und Betrieb der Stromerzeugungssysteme aus. Ihre Berücksichtigung verschiebt die Kostenrelationen zwischen den erneuerbaren und konventionellen Stromerzeugungssystemen nicht nachhaltig zugunsten der erneuerbaren Energien.

Die hier erläuterten Ergebnisse ganzheitlicher Bilanzen des Energie- und Rohstoffaufwandes und der Stofffreisetzungen bei der Stromerzeugung gelten

wie die Kostenangaben für den derzeit erreichten Stand der Technik. Es ist davon auszugehen, daß sich mit Fortschreiten der technischen Entwicklung deutliche Verbesserungen realisieren lassen. Dies gilt aber für alle der hier betrachteten Stromerzeugungstechniken.

**Tabelle 4:** Externe Kosten verschiedener Stromerzeugungssysteme für ausgewählte Schadenskategorien in Pf/kWh (ohne Kosten des Treibhauseffektes)

	Stein- kohle	Braun- kohle	Gas GuD	Kern- energie	PV	Wind
<b>Öffentliche Gesundheitsschäden<sup>1)</sup></b>	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,05<sup>1)</sup> - 0,22<sup>2)</sup></b>	<b>0,8</b>	<b>0,03</b>
<b>Berufliche Gesundheitsschäden</b>	<b>0,2</b>	<b>0</b>	<b>0,004</b>	<b>0,009</b>	<b>- 0,05</b>	<b>0,008</b>
<b>Schäden an Feldpflanzen</b>	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>	<b>0,03</b>	<b>0,007</b>	<b>0,04</b>	<b>0,001</b>
<b>Materialschäden</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,007</b>	<b>0,002</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0006</b>
<b>Lärm</b>	<b>n. q.</b>	<b>n. q.</b>	<b>n. q.</b>	<b>n. q.</b>	<b>n. q.</b>	<b>0 - 0,012</b>
<b>Ökosysteme</b>	<b>n. q.</b>	<b>n. q.</b>	<b>n. q.</b>	<b>n. q.</b>	<b>n. q.</b>	<b>n. q.</b>
<b>Summe</b>	<b>2,0</b>	<b>2,1</b>	<b>0,6</b>	<b>0,07 - 0,24</b>	<b>0,8</b>	<b>0,04 - 0,05</b>

1) 3% Diskontrate    2) 0% Diskontrate    n.q.: nicht quantifiziert

Nach diesem relativen Vergleich von Nachhaltigkeitsaspekten verschiedener Stromerzeugungstechniken wird im folgenden noch konkreter darauf eingegangen, welche Bedeutung der Kernenergie für eine nachhaltige Entwicklung in unserem Land zukommt. Damit soll auch ein Beitrag zu der aktuellen Diskussion über die wirtschaftlichen und umweltseitigen Konsequenzen eines Kernenergieausstiegs geleistet werden.

Es werden Ergebnisse modellgestützter Analysen der Entwicklung der Energieversorgung in Deutschland erläutert, die insbesondere die Aspekte der wirtschaftlichen Entwicklung und des Umwelt- und Klimaschutzes als wesentliche Aspekte einer nachhaltigen Energieversorgung näher beleuchten.

#### **4. Bedeutung der Kernenergie für die Wirtschaft und das Klima**

Eine Analyse der Bedeutung der Kernenergie aus Sicht der Umwelt und der wirtschaftlichen Entwicklung basiert in der Regel auf einem Vergleich der zukünftigen Entwicklung mit bzw. ohne eine Nutzung der Kernenergie. Eine analytisch belastbare Konsequenzanalyse muß dabei die Bezugs- bzw. Referenzentwicklung und die Ausstiegsszenarien konsistent mit Blick auf die zu ermittelnden Ausstiegskonsequenzen anlegen und die Auswirkungen unsicherer, ergebnisrelevanter Annahmen aufzeigen.

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

In Tabelle 5 sind wesentliche Rahmenannahmen zusammengestellt, die den modellgestützten Szenarioanalysen zugrunde liegen. Dabei werden zwei Wirtschaftsentwicklungen betrachtet, die durch unterschiedliche durchschnittliche Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts von 1,8 % bzw 2,3 %/a gekennzeichnet sind.



**Tabelle 5:** Rahmenannahmen

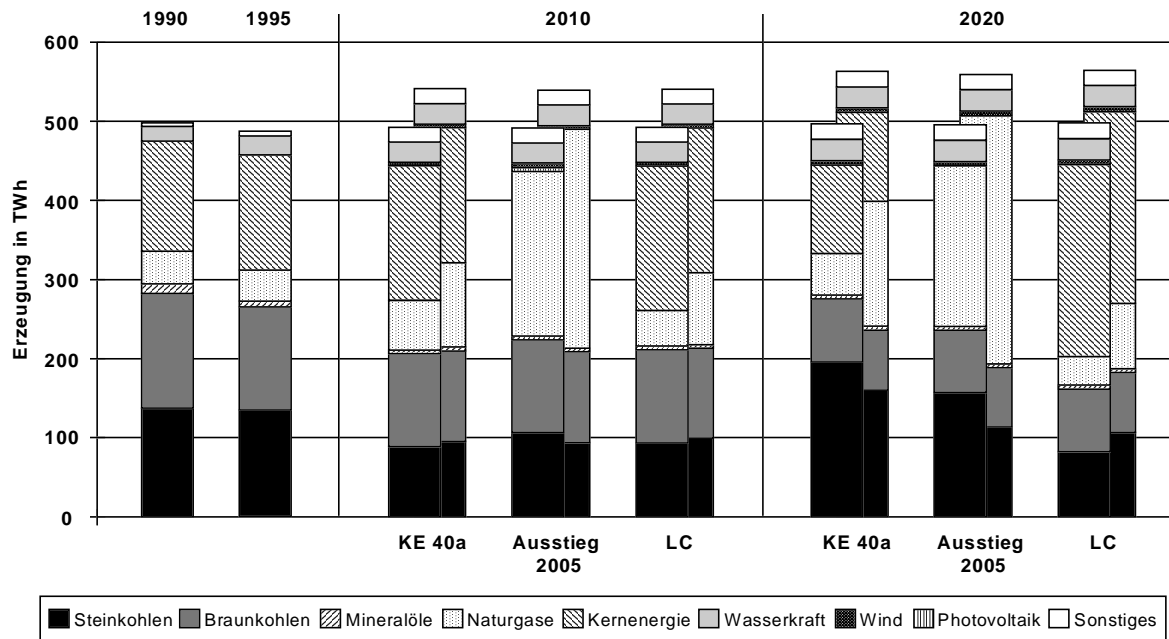
	1990	1995	2005	2010	2020	2030
<b>Bevölkerung in Mio.</b>	79.4	81.4	83.6	83.4	81.2	77.4
<b>Bruttoinlandsprod. in Mrd. DM<sub>91</sub></b>	2787	3014	3673 - 4012	4013 - 4487	4792 - 5479	5728 - 6466
<b>Wachstum des BIP in %/a</b>		1.58	1.99 - 2.90	1.79 - 2.26	1.79 - 2.02	1.67 - 1.80
<b>Rohölpreis in \$95/bbl</b>	26.6	17.6	20	22.7	28	35

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).

In Abbildung 3 ist exemplarisch die Struktur der Stromerzeugung dieser Szenarien für die Jahre 2010 und 2020 dargestellt, wobei hier unterstellt wurde, daß entsprechend der EU-Kyoto-Verpflichtung die Treibhausgasemissionen in Deutschland für die Periode 2008 - 2012 um 21 % gegenüber 1990 zu reduzieren sind. Für das Jahr 2020 wurde von einer Fortschreibung des Reduktionsziels auf 27 % ausgegangen. Die beiden Säulen in Abbildung 3 zeigen den Einfluß der beiden betrachteten Wirtschaftsentwicklungen.

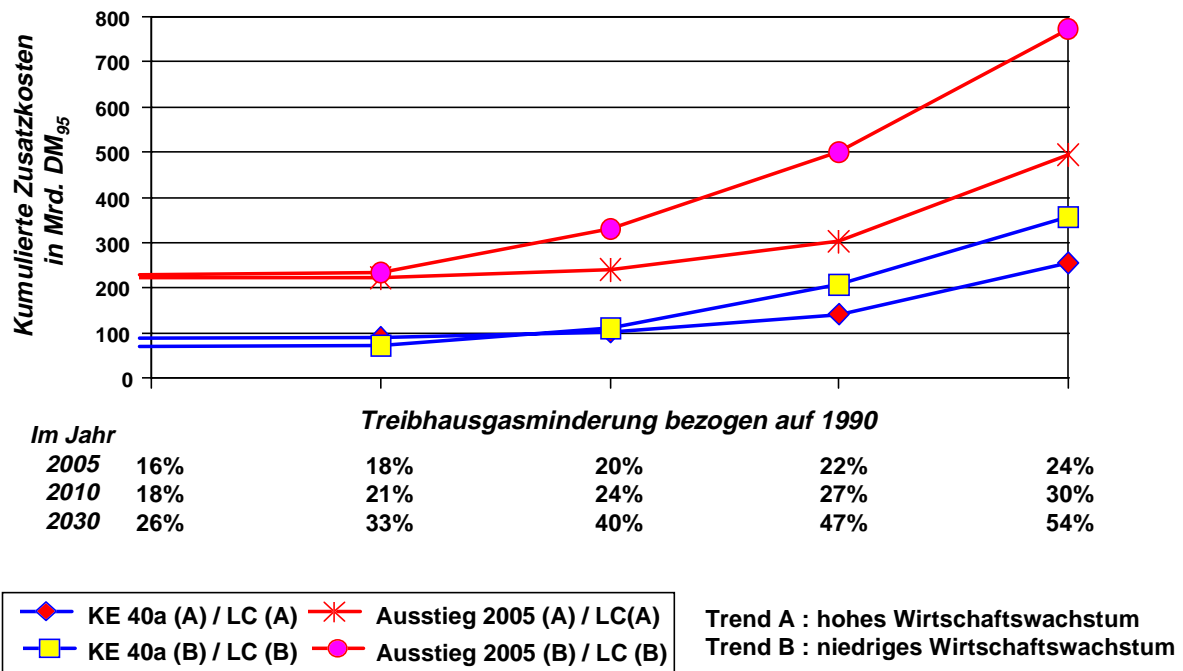
In dem Least-Cost-Szenario (LC) werden im Jahr 2020 rd. 45 bzw. 50 % des Stroms aus Kernkraftwerken erzeugt, während in der Ausstiegsvariante 2005 Erdgas zum dominierenden Energieträger für die Stromerzeugung wird.



**Abbildung 3:** Struktur der Stromerzeugung (Nettostrombereitstellung) in den Szenarien

Die energiekostenseitigen Folgen eines Kernenergieausstiegs sind in Abbildung 4 in Abhängigkeit von den Klimaschutzzielen dargestellt. 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.



**Abbildung 4:** Kumulierte Zusatzkosten eines Kernenergieverzichts (Betrachtungszeitraum bis 2030)

Für einen Kernenergieausstieg bis zum Jahr 2005 liegen die Kostenbelastungen in einer Größenordnung von 220 bis 780 Mrd. DM<sub>95</sub>. Die gesamtwirtschaftlichen und insbesondere die beschäftigungsseitigen Effekte derartiger Mehrbelastungen der Volkswirtschaft lassen sich quantitativ derzeit nicht angeben. Die Ergebnisse machen aber 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.

## 5. **Schlußbemerkung**

Eine auf Nachhaltigkeit abzielende Entwicklung heißt im Kern, den kommenden Generationen keine Lebens- und Entwicklungschancen vorzuenthalten. Das ökonomische Effizienzprinzip des sorgsamem Umgangs 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 dabei eine Schlüsselfunktion zu. Die Kernenergie ist bei Abwägung der verschiedenen Nachhaltigkeitskriterien die Energieversorgungsoption, die den Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung gangbar macht.

Das energiepolitische Dilemma in unserem Land besteht zu einem Gutteil darin, daß wesentliche naturwissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Grundtatbestände zur Fundierung einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Energiepolitik nicht zur Kenntnis genommen, sondern ignoriert werden.

Der berühmte britische 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". Der Eindruck ist wohl nicht unberechtigt, daß wir in Deutschland nach einem Stillstand den Weg zurück einläuten, indem wir leichtfertig eine Problemlösungsoption aufgeben und mit einer falsch konzipierten ökologischen Steuerreform den kommenden Generationen zusätzliche Hindernisse auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung aufbauen.

Trotz einer unverkennbaren Tendenz, daß in der energiepolitischen öffentlichen Diskussion Betroffenheit immer häufiger an die Stelle von Kompetenz und Urteilsfähigkeit tritt, und daß die Bereitschaft, Sachfragen zu politisieren, statt sie sachverständig zu durchdringen, eher zu- als abnimmt, sollten wir in unseren Bemühungen nicht nachlassen, den wirklich tragfähigen Lösungen zur Bewältigung der vor uns liegenden Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung auch öffentlich Gehör zu verschaffen. Beharrlichkeit und Ausdauer sind gefragt, schnelle Erfolge wohl nicht zu erwarten. Mühen und Anstrengungen sind mehr als gerechtfertigt, denn es steht viel auf dem Spiel, für die Zukunft des Standortes Deutschland, für die Beschäftigung in unserem Land, für den sozialen Frieden und nicht zuletzt für den Schutz der Umwelt und des Klimas.