

Alfred Voß

1 Einführung

Die Nutzung der fossilen Energieträger ist uns seit mehr als hundert Jahren wohl vertraut. Erdöl, Erdgas und Kohle sind auch heute noch die Hauptquellen unserer Energieversorgung. Weltweit tragen sie mit mehr als 85 % zur Befriedigung der Energienachfrage bei und auch in unserem Land ist das fossile Feuer die Hauptstütze der Energieversorgung mit einem Anteil von 85 % am gesamten Primärenergieverbrauch.

Die Verfügbarmachung steigender Mengen an fossilen Energieträgern war eine der notwendigen Vorbedingungen für die industrielle Revolution, die zumindest in den Industrieländern zu einer beispiellosen Verbesserung der Lebensumstände, zu einem zuvor nicht gekannten Wohlstand und zu neuen Dimensionen der individuellen Selbstverwirklichung geführt hat.

Mit dem über viele Jahrzehnte exponentiell gestiegenen weltweiten Verbrauch fossiler Energieträger traten aber auch die unerwünschten Nebenwirkungen der Nutzung dieser Energiequellen immer mehr in den Vordergrund. Die Nutzung von Kohle, Öl und Erdgas ist heute eine der Hauptquellen der anthropogenen Umweltbelastung. Das gilt insbesondere für die Belastung der Luft mit Schadgasen und die Veränderung der natürlichen Spurengaszusam-

mensetzung der Atmosphäre. Die Grenze der Belastbarkeit von Natur und Umwelt scheint erreicht, ihre Regenerationsfähigkeit und damit die natürlichen Grundlagen unseres Lebens scheinen gefährdet.

Die Wahrnehmung der Gefahren und Risiken der Nutzung fossiler Energieträger hat sich dabei im Zeitablauf deutlich verschoben. Waren es in den ersten sechs Jahrzehnten dieses Jahrhunderts die Unfallrisiken, die mit der Gewinnung und der Umwandlung fossiler Energieträger verbunden waren, erwähnt seien hier die Unfälle beim Betrieb von Dampfkesseln und die Unfälle im Steinkohlenbergbau, so sind in den siebziger Jahren die vermeintlichen Versorgungs- und Knappheitsrisiken des Mineralöls, ausgelöst durch die beiden Ölpreiskrisen in den Jahren 1973 sowie 1978/79 in den Vordergrund getreten. Mit dem sog. Waldsterben, oder genauer gesagt mit den neuartigen Waldschäden rückten dann Anfang der achtziger Jahre die Umwelteffekte der Nutzung fossiler Energie in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses, welches gegenwärtig von der Diskussion über die Gefährdung unseres Klimas beherrscht wird, wobei die Freisetzung von Treibhausgasen durch die Nutzung von Kohle, Öl und Erdgas als eine wesentliche Ursache angesehen wird.

Diese historische Entwicklung ist gleichzeitig gekennzeichnet durch eine Internationalisierung und Globalisierung des jeweils im Vordergrund stehenden Risikos, was neue Handlungsstrategien zu ihrer Eindämmung erforderlich macht.

Obwohl die gegenwärtige Risikodiskussion von den negativen Folgen der extensiven Anwendung der Technik im allgemeinen und den unerwünschten Nebenwirkungen der Energienutzung im speziellen bestimmt wird, sollte die Tatsache nicht in Vergessenheit geraten, daß es die Fortschritte der Technik und die wachsende Verfügbarkeit der fossilen Energieträger waren, die die natürlichen Lebensrisiken, die Bedrohung durch die Naturgewalten erheblich reduziert haben. H. Grümm hat diesen Sachverhalt wie folgt ausgedrückt: "Die Energie und die aus ihr fließenden Wohltaten, Licht, Wärme, Nahrung und Kleidung zeigen sich als technische

Umwelt, ohne die der Prothesengott Mensch nicht existieren kann. Die Umwelt "Natur", deren früherer Ungestörtheit wir heute nachtrauern, enthüllt sich aber bei schwindender Energieproduktion als Feind, als Quelle von Kälte, Hunger und Krankheit."

Zumindest in den heutigen Industriestaaten ist dieser Nutzenaspekt kaum noch direkt erfahrbar und für den Einzelnen erst recht nicht mehr offensichtlich, was eine rationale Diskussion und Einordnung der Risiken der Nutzung fossiler Energieträger nicht gerade erleichtert.

Carl Friedrich von Weizäcker /1/ hat als eine Vorbedingung zur Lösung der Umweltprobleme und der Erhaltung der Natur ein Erwachsenwerden des Bewußtseins gefordert, daß Technik als Macht des Menschen in der Natur und nicht als Herrschaft über sie versteht. In diesem Sinne sei eine Technik, die nur die bewußten Zwecke im Auge hat und die ungeplanten Nebenwirkungen vergißt, eine unreife oder schlechte Technik.

Folgt man dieser These, so ist, angesichts der deutlicher erkennbaren unerwünschten Nebeneffekte, der potentiellen Gefahren und Risiken der Nutzung fossiler Energieträger, der gegenwärtige Umfang und Umgang mit dem fossilen Feuer zu hinterfragen.

Um zu weitgehenden Erwartungen vorzubeugen, sei hier gleich festgestellt, daß eine umfassende quantitative Ermittlung der Gefahren und Risiken einer extensiven Nutzung der fossilen Energieträger Kohle, Öl und Erdgas beim gegenwärtigen Kenntnisstand nicht möglich ist. Ich kann deshalb nur den Versuch machen, die wesentlichen Risiken zu umreißen und Möglichkeiten der Minderung aufzuzeigen. Quantitative Aussagen sind dabei nur für Teilbereiche möglich.

2 Zum Risikobegriff

Der Begriff des "Risikos" hat im Alltagsgebrauch und verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen durchaus eine unterschiedliche Bedeutung. Bezeichnete er zunächst ausschließlich ein ökonomisches

misches Wagnis, d.h. eine Verlustgefahr, die mit einer wirtschaftlichen Betätigung verbunden ist, so wird der Begriff heute in der Umgangssprache auch auf andere Bereiche angewendet. Beispiele hierfür sind Begriffe wie Gesundheitsrisiko, Operationsrisiko, Kriegsrisiko. Risiko wird hier nahezu synonym mit dem Begriff "Gefahr", also die unmittelbar drohende Möglichkeit eines Schadens benutzt. Rechtlich gegeneinander abgegrenzt sind "Risiko" und "Gefahr", wonach "Gefahr" ein Zustand ist, bei dem Eintrittswahrscheinlichkeit und Ausmaß zu befürchtender Schäden ein zumutbares Risiko überschreiten. In der Ökonomie bezeichnet Risiko den Bereich von Entscheidungen, der zwischen "Sicherheit" und "Unsicherheit", also bei Nichtkenntnis der Eintrittswahrscheinlichkeiten, liegt. In der technischen Risikoforschung wird der Begriff, ähnlich wie im Versicherungswesen, mit einer negativen Belegung, d.h. schadensorientiert verwendet.

Die meisten Begriffsbestimmungen beruhen auf einer Verbindung der beiden Komponenten Unsicherheit und Konsequenzen, wobei letztere meist negativ, im Sinne von Schaden gemeint sind. Jede Möglichkeit einen Schaden zu erleiden stellt dann eine Gefahr dar. Ein eingetretener Schaden kann dann als die Realisierung einer Gefahr begriffen werden. Eine technische Einrichtung, oder hier die Nutzung eines Energieträgers, die Schäden materieller, gesundheitlicher oder ökologischer Art hervorrufen kann, sei in diesem Kontext als Gefahrenquelle aufgefaßt und stellt damit ein Gefahrenpotential dar. Da es im allgemeinen ungewiß ist, ob und wann ein Schaden eintritt, reicht die Angabe der Größe dieses Potentials allein nicht aus, um Gefahren und Gefahrenquellen angemessen zu charakterisieren. Das Risiko, das einem Gefahrenpotential zugeordnet wird, soll nun ein Maß für die Unsicherheit bzw. die Sicherheit der Erwartung von Schaden darstellen.

Risiko sei also hier verstanden, als ein Maß für die Gefahr, die für eine Gesellschaft oder ein Individuum von der Energienutzung ausgeht. Risiko ist eine Kombination aus zu erwartendem Schaden und der Wahrscheinlichkeit, mit der Schaden erwartet wird. Die Komponente Schaden ist ihrerseits aus den Komponenten Schadensart und Schadensumfang zusammengesetzt.

Auf die mit dieser Definition des Risikobegriffs, die bei der Abschätzung technischer Risiken allgemein Verwendung findet, verbundenen Probleme z.B. im Hinblick auf die Kommunikationsfähigkeit oder als Grundlage für Risikobewertungen, sei hier ebensowenig eingegangen wie auf die methodischen Probleme der Quantifizierung des Schadens- und Wahrscheinlichkeitsterms.

Wenden wir uns nach diesem Exkurs zum Risikobegriff nun dem eigentlichen Thema dieser Ausführungen, den Risiken, die mit der Nutzung der fossilen Energieträger verbunden sind, zu.

Wie bereits eingangs erwähnt, sind die im Zusammenhang mit der Nutzung fossiler Energien wesentlichen Risikobereiche,

- die Versorgungs- und Verknappungsrisiken
- die Umwelt- und Klimarisiken und
- die Gesundheitsrisiken.

Letztere sind dabei direkt und indirekt mit den beiden erstgenannten verknüpft, d.h. die jeweiligen Risiken sind nicht unabhängig voneinander. Auf die einzelnen Risikobereiche sei nun im folgenden näher eingegangen.

3 Versorgungs- und Verknappungsrisiken

Die beiden Ölpreiskrisen der Jahre 1973 und 1978/79 haben uns damals unerwartet und unvorbereitet die Risiken unserer einseitig auf den Energieträger Rohöl ausgerichteten Energieversorgung erfahren lassen. Nach Überwindung der Anpassungsschwierigkeiten und weltweiter Maßnahmen zur Reduzierung der Ölabhängigkeit war die Lage auf den Weltenergiemärkten in den letzten Jahren entspannt und eher durch Überangebot als durch Knappheiten gekennzeichnet, bis die Besetzung Kuwaits durch den Irak die politischen Unsicherheiten der Ölversorgung wieder sichtbar machte. Aus der Erfahrung der letzten beiden Jahrzehnte kann zumindest abgeleitet werden, daß es nicht, wie in den siebziger Jahren befürchtet, die begrenzten Reserven an Öl und Gas sind, die das Versorgungsrisiko ausmachen, - die nachgewiesenen Erdöl- und Erdgasreserven waren noch nie so groß wie heute -, sondern die mit der geographischen Verteilung der Vorräte im Zusammenhang ste-

henden "politischen" Risiken, die primär von Bedeutung sind. Die Eintrittswahrscheinlichkeit politisch motivierter Verknappungen oder Preissteigerungen zu reduzieren ist eine politische Aufgabe in einer immer mehr zusammenwachsenden Weltwirtschaft. Obwohl die beiden Ölpreissteigerungen deutliche Spuren in der Weltwirtschaft hinterlassen haben, die sich in Wachstumseinbußen, Umverteilungen und erhöhter Arbeitslosigkeit manifestiert haben, liegen Schätzungen über die entstandenen "Schäden" nicht vor. Angaben über die Eintrittswahrscheinlichkeiten "politischer" Versorgungsengpässe oder "politischer" Preissteigerungen können wohl nicht mehr als Spekulation sein, so daß sich die Versorgungsrisiken der fossilen Energieträger quantitativ nicht fassen lassen. Aufgrund der unterschiedlichen Vorratsbasis und der geographischen Verteilung der Lagerstätten, ist aber wohl eine qualitative Einordnung dergestalt möglich, daß die Versorgungsrisiken beim Erdgas höher als bei der Kohle und beim Erdöl am höchsten sind. Erwähnt sei noch, daß die Anlage von Vorräten, wie sie nach den beiden Ölpreiskrisen erfolgt ist, eine sinnvolle Strategie zur Reduzierung der Versorgungsrisiken ist.

4 Umwelt- und Klimaeffekte der Nutzung fossiler Energieträger

Die Energieversorgung, d.h. die Gewinnung, Umwandlung und Nutzung fossiler Energieträger ist derzeit eine der wesentlichen Quellen der Umweltbelastung. Tab. 1 verdeutlicht dies exemplarisch am Beispiel einiger Luftschadstoffe. Mehr als 95 % aller SO₂- und NO_x-Emissionen des Jahres 1987 in der Bundesrepublik Deutschland entstanden im Zusammenhang mit der energetischen Nutzung von Kohle, Öl und Erdgas. Beim Kohlenmonoxid waren es fast 90 % und bei den flüchtigen organischen Verbindungen mehr als die Hälfte.

Die Inanspruchnahme von Umwelt und Natur erfolgt dabei auf allen Stufen von der Gewinnung der fossilen Energieträger bis zur Nutzung beim Endverbraucher. Abb. 1 stellt schematisch die vielfältigen Umwelteffekte, d.h. die Quellen, die Belastungsarten, die Übertragungsmedien und die Wirkungsbereiche, die von der Nutzung der fossilen Energieträger ausgehen, dar.

	Gesamtemissionen in 10 ³ t	Anteil der Energienutzung in %
Stickoxide (NO _x)	2625	99,0
Schwefeldioxid (SO ₂)	1550	93,5
NMVOC	2590	59,1
Kohlenmonoxid (CO)	8350	87,4

Tab. 1: Anteil energiebedingter Emissionen von Schadgasen an den Gesamtemissionen im Jahr 1987 in der BRD

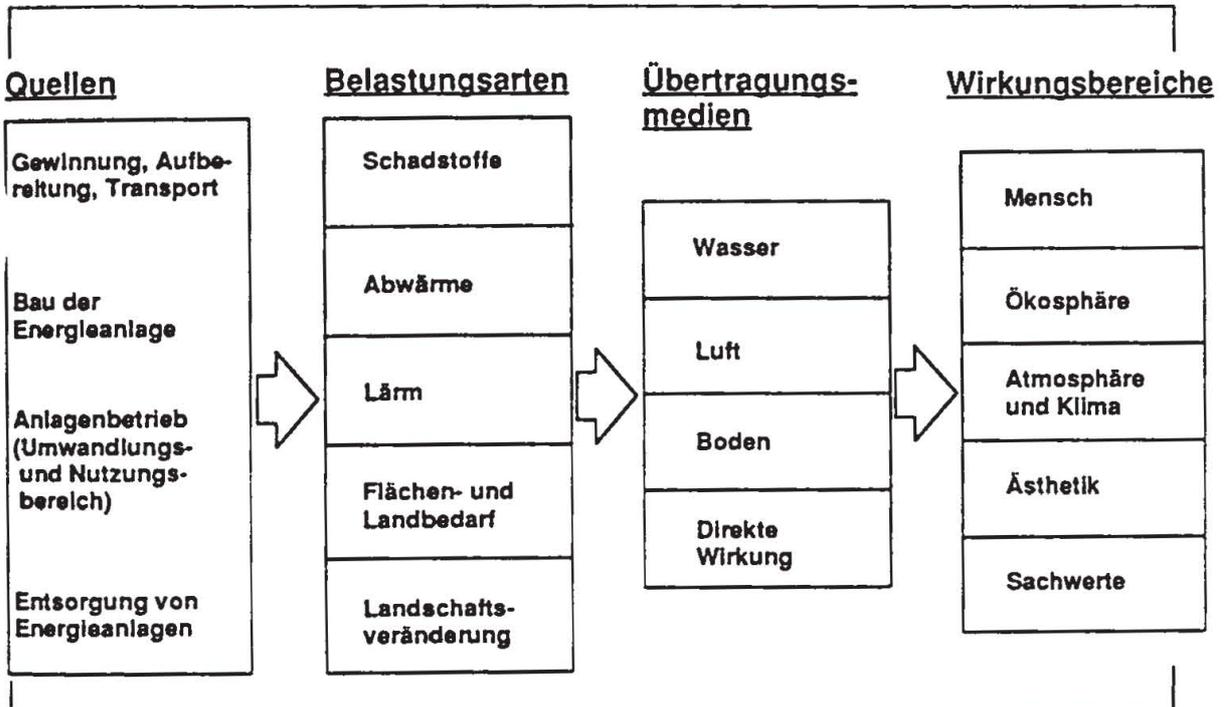


Abb. 1 Umweltbelastungen durch Nutzung fossiler Energieträger

Schäden und Risiken können dabei den Menschen und die Natur sowohl direkt als auch indirekt betreffen, sie können materieller aber auch ideeller Natur sein.

Trotz einer erheblichen Intensivierung der Umwelt-, Ökosystem-, Ökotoxikologie- und Klimaforschung sowie der Erforschung der Auswirkungen luftgetragener Schadstoffe auf die Gesundheit sind die gegenwärtigen Kenntnisse noch nicht ausreichend, um die Umwelteffekte der Nutzung fossiler Energieträger umfassend und quantitativ bestimmen zu können.

Die bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas freigesetzten Luftschadstoffe SO_2 , NO_x , CO und flüchtige Kohlenwasserstoffe sowie ihr Folgeprodukt Ozon gelten als die Verursacher der neuartigen Waldschäden. Schwefeldioxid wird der Hauptbeitrag am sauren Regen zugeschrieben, der zur Übersäuerung von Böden und Seen führt.

Für alle diese luftgetragenen Schadstoffe sind gesundheitsschädigende Wirkungen nachgewiesen bzw. werden solche vermutet, ohne daß die Dosis-Risiko-Beziehungen insbesondere für niedrige Dosen im einzelnen bekannt sind. Die möglichen Auswirkungen von Staubinhaltsstoffen, wie z. B. Cadmium, Blei, Arsen, Chrom und deren Verbindungen sowie von Kohlenwasserstoffen auf die menschliche Gesundheit sind außerordentlich vielfältig und umfassen akute wie chronische Toxizität sowie kanzerogene und mutagene Wirkungen /2, 3/.

Als weitere Umwelteffekte seien hier die Gewässerbelastungen durch Öl aus havarierten Tankern oder Unfällen bei der Rohölgewinnung sowie die Inanspruchnahme großer Flächen bei der Braunkohlegewinnung genannt.

Die nur unvollständige Kenntnis der Umwelteffekte erschwert natürlich auch die Quantifizierung der durch die fossilen Energieträger verursachten Schäden. Die Umweltökonomie steht bei der Quantifizierung und Monetarisierung der Umweltschäden noch am Anfang. L. Wicke beziffert in einer ersten "ökologischen Schadensbilanz der Bundesrepublik Deutschland" die "rechenbaren"

Schäden durch Luftverschmutzung mit rd. 48 Mrd. DM pro Jahr /4/.

Eine von uns selbst durchgeführte Abschätzung der externen Kosten der Stromerzeugung in modernen voll entschwefelten und entstickten Steinkohlekraftwerken ergab für die nach gegenwärtigem Kenntnisstand quantifizierbaren Umwelt- und gesundheitlichen Schäden externe Kosten in Höhe von rd. 0,5 Pfg/kWh_{el}. Die einer Freisetzung von Treibhausgasen eventuell zuzurechnenden Klimaschäden sind darin nicht enthalten /5/.

Ohne daß dazu vergleichende Untersuchungen vorliegen, spricht vieles dafür, daß die der Erdgas- und Erdölnutzung zuzurechnenden Umweltschäden kleiner sind als bei der Kohle.

Erwähnt sei noch, daß die bisher angesprochenen Umwelt- und Gesundheitsbelastungen der Nutzung fossiler Energieträger durch technische Maßnahmen reduziert, z. T. erheblich reduziert werden können. Beispielhaft sei hier nur auf die Rauchgasreinigung verwiesen, die die Schadstoffemissionen von SO₂ und NO_x um mehr als 80 % vermindert.

Im Prinzip kann auch das Kohlendioxid, das notwendigerweise bei der Verbrennung fossiler Energieträger entsteht, durch technische Maßnahmen zurückgehalten werden, so daß es nicht in die Atmosphäre gelangt und über den sog. Treibhauseffekt zu Veränderungen des Klimas führen würde. Offen ist aber, ob es für die gewaltigen zu entsorgenden CO₂-Mengen, Endlagerstätten gibt - gedacht ist hier an die Tiefsee-, in denen das CO₂ ökologisch verträglich und mit dem notwendigen Rückhaltevermögen aufbewahrt werden kann, so daß dies nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand kein gangbarer Weg zur Reduzierung der Klimarisiken ist.

Das Kohlendioxid ist derzeit mit einem Anteil von 50 % am anthropogen verursachten Treibhauseffekt das wichtigste Treibhausgas, gefolgt von Methan (CH₄), den Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen (FCKW), dem Ozon und dem Lachgas (NO₂).

Abb. 2 zeigt den Beitrag verschiedener menschlicher Aktivitäten zur Freisetzung klimarelevanter Spurengase. Auf die Energiebe-

reitstellung und -nutzung entfällt dabei mit 57 % der bei weitem größte Teil und hier wiederum hat das CO₂ die bei weitem größte Bedeutung.

Die prinzipiellen Wirkungen einer Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre sind bekannt, dennoch lassen sich, auch mit den gegenwärtig verfügbaren großen Klimamodellen, die Auswirkungen der Spurengasanreicherung in der Atmosphäre auf das Klima sowie wie die Folgen der Klimaveränderungen, wenn überhaupt, nur qualitativ angeben. In Abb. 3 sind die wesentlichen derzeit diskutierten direkten Folgen einer weiteren Freisetzung von Treibhausgasen aufgeführt. Sie umfassen die Erhöhung der bodennahen Lufttemperatur, wobei diese keinesweg gleichmäßig über die Breitengrade erfolgt, den Anstieg der Meeresspiegel, die Änderung der atmosphärischen Zirkulation und der Niederschlagsverteilung.

Als Schaden im Sinne der hier anzustellenden Risikobetrachtungen werden einmal negative Auswirkungen auf die Biosphäre diskutiert, da eine Erhöhung der atmosphärischen CO₂-Konzentration entscheidend in den Energie- und Baustoffwechsel aller Lebewesen eingreift und verschiedene Reaktionen bei Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren nach sich zieht und somit weltweit das Systemgleichgewicht stören kann. Dabei soll, so lauten die Hypothesen, aufgrund der besseren Anpassungsfähigkeiten der Mikrolebewesen an die sich verändernde Zusammensetzung der Atmosphäre das Risiko von Krankheiten für die größeren Lebewesen, also auch den Menschen zunehmen /6, 7/.

Die vermutete Häufung extremer Wettersituationen, z. B. von hohen Temperaturen oder von Wirbelstürmen ist eine weitere potentielle Gefahr für den Menschen. Desweiteren werden negative Wirkungen auf die Vegetationszonen und damit auch auf Nahrungsmittelproduktion vermutet und bei einem Anstieg des Meeresspiegels werden in vielen Gebieten der Erde größere Landflächen überschwemmt werden.

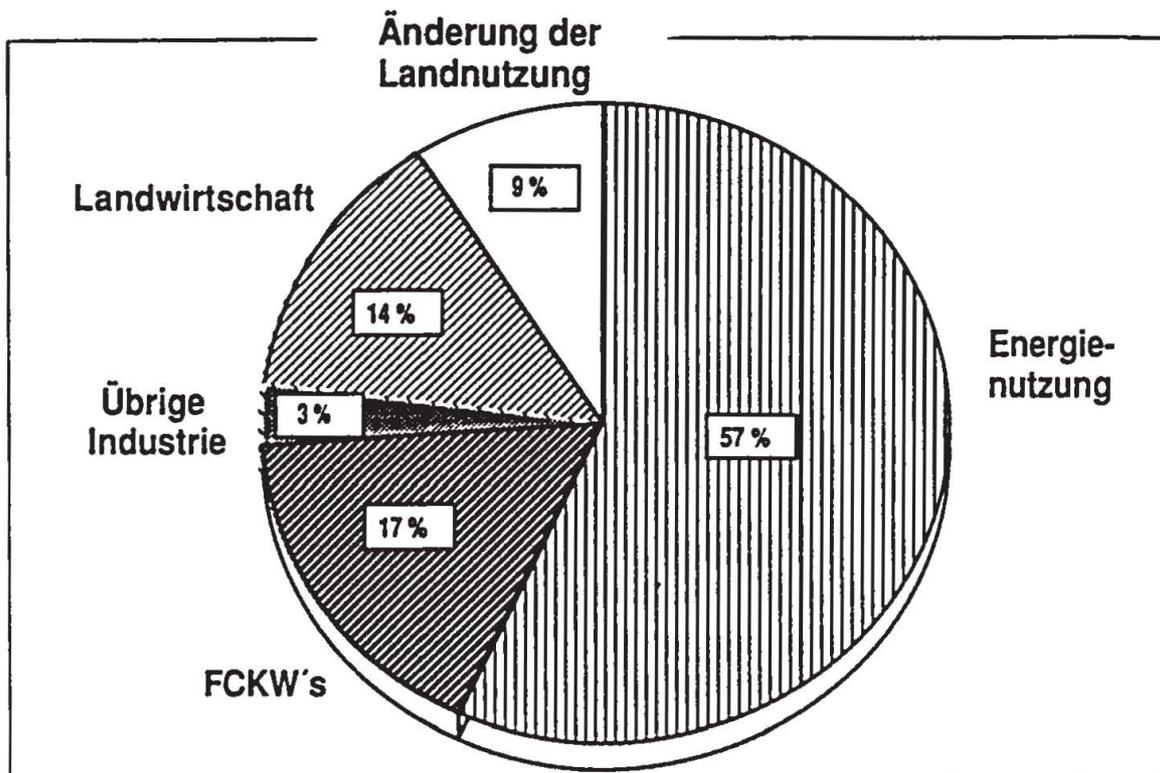


Abb. 2 Geschätzter Beitrag verschiedener anthropogener Aktivitäten zum Treibhauseffekt

<u>Direkte Folgen</u>	<u>Auswirkungen auf</u>
- Erhöhte CO ₂ -Konzentration in der Atmosphäre	• Biosphäre und Evolution
- Anstieg der bodennahen Lufttemperatur	• Vegetationszonen
- Anstieg des Meeresspiegels	• Nahrungsmittelproduktion
- Änderung der Niederschlagsverteilung	• Landflächen
- Änderung der atmosphärischen Zirkulation	• menschliche Gesundheit
	• Wetter (Häufung extremer Wettersituationen)

Abb. 3 Folgen und Auswirkungsbereiche der Freisetzung von Treibhausgasen

Klimaveränderungen müssen aber nicht notwendigerweise in allen betroffenen Gebieten zu negativen Auswirkungen führen.

Insgesamt bleibt festzustellen, daß die Konsequenzen einer weiteren Erhöhung der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre heute nur ansatzweise beschrieben werden können. Eine quantitative Abschätzung von Schadenswirkungen und Schadenswahrscheinlichkeiten, und damit eine Quantifizierung der Risiken von Klimaänderungen durch die Nutzung fossiler Energie, ist gegenwärtig und wohl auch in naher Zukunft nicht möglich.

Im Hinblick auf die Klimarelevanz sind die verschiedenen fossilen Energieträger durchaus unterschiedlich zu beurteilen. Dies hängt im wesentlichen mit dem unterschiedlichen Wasserstoff-Kohlenstoff-Verhältnis der fossilen Brennstoffe zusammen. Setzt man die direkten CO₂-Emissionen von Steinkohle zu 100, so entstehen bezogen auf dieselbe Energiemenge bei der Braunkohle 120, beim Mineralöl 80 und beim Erdgas rd. 60 Einheiten CO₂. Die Klimarisiken sind damit also beim Erdgas geringer als beim Erdöl und bei der Kohle. Die Substitution des C-reichen Energieträgers Kohle durch den C-armen Energieträger Erdgas führt somit zu einer Verminderung der CO₂-Emissionen und damit auch der Klimarisiken.

Um aber die Klimaveränderungen auf ein tolerierbares Maß zu begrenzen, ist nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand die Emission klimarelevanter Spurengase in wenigen Jahrzehnten drastisch zu senken, was wohl nur erreicht werden kann, wenn die Nutzung fossiler Energieträger eingeschränkt wird.

5 Gesundheitsrisiken der Nutzung fossiler Energieträger

Im Vergleich zu den Umwelt- und Klimarisiken der Nutzung fossiler Energieträger liegen für die Gesundheitsrisiken Abschätzungen und quantitative Analysen vor, die erste orientierende Einordnungen erlauben, angesichts der bestehenden Wissenslücken aber noch ergänzungsbedürftig sind, um die Gesamtrisiken verläßlich bezeichnen zu können /2, 3, 8/. Risiken für das Leben und die Gesundheit der Menschen im Zusammenhang mit der Nutzung

fossiler Energieträger gehen, wie bereits erwähnt, auch von den Umwelt- und Klimaeffekten aus, insofern überlappen sich die hier diskutierten Risikobereiche.

Bei dem Versuch, die Gesundheitsrisiken der Nutzung fossiler Energie abzuschätzen, muß man sich auf meßbare Schadensarten beschränken. Die bedeutet eine Einengung des Gesundheitsbegriffes, die z. B. Phänomene wie individuelles und soziales Wohlbefinden nicht miterfaßt. In quantitative Risikoanalysen werden deshalb nur Todesfälle und physische Erkrankungen einbezogen.

Um ein vollständiges Bild der Gesundheitsrisiken zu bekommen sind alle Aktivitäten die mit der Bereitstellung einer nutzbaren Energieeinheit verbunden sind zu erfassen. Diese beinhalten die Gewinnung der Energieträger, ihren Transport und ihre Umwandlung, den Bau und Betrieb der Energieanlagen und die Entsorgung von Abfallstoffen.

Im folgenden seien die Ergebnisse einer Abschätzung der Gesundheitsrisiken der Stromerzeugung mittels Kohle, Mineralöl und Erdgas erläutert, die sich auf moderne Kraftwerke mit Rauchgasreinigung in der Bundesrepublik Deutschland beziehen.

Die Tab. 2 und 3 zeigen, die der Stromerzeugung von einem GWA (entsprechend 8760 GWh) in Kohle,- Öl- bzw. Erdgaskraftwerken zuzuordnenden gesundheitlichen Risiken, wobei die Risikobeiträge nach Art des Kollektivs (Beruf und Öffentlichkeit) und Art des Schadens (Tod, Verletzung bzw. Krankheit) getrennt ausgewiesen sind.

Im Bereich der beruflichen Risiken sind dabei sowohl die Todesrisiken wie die Unfall- und Krankheitsrisiken - hier angegeben als verlorene Arbeitstage - bei der Kohlestromerzeugung deutlich größer als bei der Stromerzeugung mittels Öl und Erdgas. Sie werden dominiert durch die Risiken der Kohleförderung, die deutlich höher sind als die anderer beruflicher Tätigkeiten.

	Todesfälle			Unfälle / Krankheitsfälle WDL ¹⁾		
	Kohle	Öl	Erdgas	Kohle	Öl	Erdgas
Förderung	3,2	0,55	0,34	14800	990	1880
Aufbereitung	*)	0,12	*)	*)	660	*)
Transport	0,19	0,21	*)	1110	980	*)
Anlagenerrichtung	0,12	0,12	0,12	760	760	760
Förderanlagen- errichtung	0,06	0,06	0,06	380	380	380
Kraftwerksbetrieb	0,01 - 0,02	0,01 - 0,02	0,01 - 0,02	30 - 270	30 - 270	30 - 270
Summe	3,6	1,1	0,6	17200	3920	3170

1) WDL = verlorene Arbeitstage

*) diese Risikobeiträge sind in den darüber stehenden Werten enthalten

Tab. 2: Berufliche Risiken im Zusammenhang mit der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern je Gwa

	Todesfälle			Unfälle / Krankheitsfälle		
	Kohle	Öl	Erdgas	Kohle	Öl	Erdgas
Betrieb						
Transport	0,06	0,04	n.e. ¹⁾	0,16	0,12	n.e. ¹⁾
Emissionen: SO ₂	0 - 23	0 - 21	-	0 - 84	0 - 76	-
Errichtung	0,008	0,008	0,008	0,38	0,35	0,35
Entsorgung	0,1	0,06	- 0	5,2	3,1	- 0
Summe	0,2 - 23,2	0,1 - 21,1	0,01	5,8 - 89,7	3,5 - 80	0,4

1) n.e. = nicht erfaßt

Tab. 3: Öffentliche Risiken im Zusammenhang mit der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern je Gwa

Die in Tab. 3 ausgewiesenen gesundheitlichen Risiken der Öffentlichkeit werden maßgeblich von den Risiken durch Luftschadstoffemissionen bestimmt. Dabei wird in den bisher durchgeführten Risikoabschätzungen das Schwefeldioxid als Leitsubstanz für die durch Luftschadstoffemissionen verursachten gesundheitlichen Schadens benutzt. Eine Analyse der in der Literatur zu findenden Dosis-Wirkungsbeziehungen, die größtenteils aus der Auswertung von Episoden kurzzeitig erhöhter Luftverunreinigungen (Smogperioden) und epidemiologischen Untersuchungen an chronisch exponierten Bevölkerungsgruppen abgeleitet sind, zeigt erhebliche Diskrepanzen insbesondere für niedrige Konzentrationsbereiche und bezüglich der Annahme eines Schwellenwertes. Belastbare Aussagen über die aus Luftschadstoffemissionen resultierenden Gesundheitsrisiken sind deshalb zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich. Qualitativ läßt sich ableiten, daß sie beim Erdgas wegen der auf die Energieeinheit bezogenen geringeren Schadstoffemissionen wohl geringer einzuschätzen sind als bei Kohle und Erdöl. Dies gilt auch für die öffentlichen Risiken insgesamt.

Zusammenfassend läßt sich bezüglich des gegenwärtigen Wissensstandes über die gesundheitlichen Risiken, die mit der Nutzung fossiler Energieträger verbunden sind, feststellen, daß für den beruflichen Bereich verläßliche Angaben vorliegen, während die Risikowerte für die Öffentlichkeit, noch mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

Die beruflichen Risiken der Kohle sind deutlich höher als bei Erdgas und Erdöl und in bezug auf die Gesundheitsrisiken der Öffentlichkeit scheint der Nutzung des Energieträgers Erdgas mit den geringsten Risiken verbunden zu sein.

6 Zusammenfassung

Die Risiken und Implikationen der Nutzung fossiler Energien sind mit ihrem wachsenden Verbrauch immer deutlicher erkennbar geworden. Dennoch sind wir heute weit davon entfernt, die Versorgungs-, Umwelt-, Klima- und Gesundheitsrisiken der fossilen

Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas, die die Hauptlast unserer Energieversorgung tragen, quantitativ angeben zu können, um die relativen Risiken der fossilen Energieträger untereinander und mit ihren nicht fossilen Alternativen vergleichen zu können. Der gegenwärtige Kenntnisstand läßt allenfalls die Aussage zu, daß die Umwelt-, Klima- und Gesundheitsrisiken des Erdgases geringer sind als die der Kohle und des Erdöls.

Nahezu alle Gesundheits- und Umweltrisiken der Nutzung fossiler Energieträger lassen sich durch technische Maßnahmen reduzieren. Für die Klimarisiken trifft dies nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand nicht zu. Ihre Eingrenzung ist wohl nur durch eine Rückführung des Verbrauchs fossiler Energieträger und die damit verbundene Reduktion der Freisetzung von Treibhausgasen in die Atmosphäre möglich.

Die Versorgungsrisiken beim Erdöl und Erdgas sind primär politischer Natur und zumindest gegenwärtig nicht Ausdruck der begrenzten, endlichen Vorräte. Ihre Minderung ist Aufgabe der Politik in einer ständig enger zusammenwachsenden Weltwirtschaft.

Technische Risikoanalysen, d.h. die quantitative Abschätzung aller Risiken die mit der Nutzung verschiedener Energieoptionen verbunden sind, sind hilfreiche und notwendige Instrumente einer rationalen Energiepolitik, wenn auch nicht ihre alleinigen Entscheidungsgrundlagen.

Diese Aussage gilt auch angesichts der Probleme, die der in technischen Risikoanalysen verwendete Risikobegriff als Produkt aus Schadensumfang und Eintrittswahrscheinlichkeit, in bezug auf die individuelle und gesellschaftliche Bewertung von Risiken mit sich bringt und der Erfahrung, daß die so ausgedrückten Risiken einem intuitiven Verständnis schwer zugänglich sind.

Demoskopisch ermittelte Risikoeinschätzungen und Risikowahrnehmungen können und dürfen nicht Ersatz für eine rationale Energie- und Risikopolitik sein. Der Sicherheitswissenschaft und der Risikoforschung bietet sich gerade im Energiebereich ein weites

sollten wir uns gelegentlich daran erinnern, daß wenn fast ausschließlich über Gefahren, Risiken und negative Nebeneffekte debattiert wird, der Nutzen leicht in Vergessenheit geraten kann.

Literaturverzeichnis

- /1/ C. F. von Weizsäcker
"Technik und Natur" in Risiko und Wagnis, Verlag Günther Neske, Pfullingen 1990

- /2/ U. Kallenbach, et al.
"Integrale und vergleichende Sicherheitsbetrachtungen von Kernenergie-Gesamtsystemen". Untersuchung im Auftrag der Enquete-Kommission Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre des Deutschen Bundestages, Oktober 1989.

- /3/ U. Kallenbach, E. Thöne
"Gesundheitsrisiken der Stromerzeugung". Verlag TÜV-Rheinland, Köln 1989

- /4/ L. Wicke
"Der ökonomische Wert der Ökologie" in Risiko und Wagnis, Verlag Günter Neske, Pfullingen 1990

- /5/ R. Friedrich, et al.
"Externe Kosten der Stromerzeugung". VWEW-Verlag, Frankfurt am Main 1989

- /6/ G. Beckmann, B. Klopries
"Neue Aspekte des CO₂-Problems" in Perspektiven der Kernenergie und CO₂-Minderung, VDI-Berichte 822, VDI Verlag, Düsseldorf 1990

- /7/ H. Hämmerle, O. Inacker
"Der Einfluß des CO₂-Anstiegs auf die Biosphäre". Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 9, September 1990

- /8/ A. F. Fritsche
"Gesundheitsrisiken von Energieversorgungssystemen". Verlag TÜV Rheinland, Köln 1988