Kapitel 7

RISIKO, UNSICHERHEIT UND UNDEUTLICHKEIT

W. Häfele, O. Renn und G. Erdmann

Risiko und gesellschaftliche Verantwortung – Perspektiven der Risikoforschung – Probabilistische Risikostudien und technische Fehleranalysen – Psychologische Untersuchungen zur Risikowahrnehmung – Ökonomische Ansätze – Anthropologische und politikwissenschaftliche Analysen – Soziologische und sozialphilosophische Risikoforschung – **Systematisierung der Risikoproblematik** – Risikoerfassung – Risikoanalyse – Kosten-Nutzen-Analyse – Risikowahrnehmung – Sozialverträglichkeit – Risikopolitik – **Faktizität, Hypothetizität, Unsicherheit und Undeutlichkeit** – Risikokommunikation im innertechnischen und außertechnischen Bereich – Fakten und Hypothesen – Unsicherheit im Grenzbereich zwischen Faktizität und Hypothetizität – Undeutlichkeit nicht-linearer Systeme – **Akzeptanz und Akzeptabilität** – Beitrag der Wissenschaft zur Risikoentscheidung – Beteiligung der Bürger an der politischen Entscheidungsfindung – **Ausblick**

Risiko und gesellschaftliche Verantwortung

Der Begriff *Risiko* ist in der Alltagssprache mit dem Wagnis eines Einsatzes für zukünftigen Gewinn verbunden. Im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich dagegen sind mit diesem Begriff mögliche zukünftige Folgen eines gegenwärtigen und andauernden Gewinns aus dem Einsatz bestimmter technischer Mittel oder bestimmter Naturereignisse gemeint. Eine derartige Bestimmung des Risikobegriffs ist erst in jüngster Zeit von Wissenschaft und Politik ausdrücklich aufgegriffen worden: „Vorwegdenken" (Antizipation) möglicher Folgen von Ereignissen wie Naturkatastrophen oder von menschlichem Handeln wie Produktion und Distribution von Gütern blieb so lange irrelevant, wie diese Folgen nicht durch gezielte Maßnahmen beeinflußt oder verändert werden konnten. Naturkatastrophen, Unfälle, Hungersnöte und Seuchen galten jahrhundertelang als von Gott, Natur oder Schicksal ausgelöste Ereignisse, auf die der Mensch nicht vorausschauend agieren kann und für die er keine direkte Verantwortung trägt – es sei denn, er versteht sie als Strafe Gottes für sündiges Verhalten.

Die Entwicklung kausaler Modelle in der Naturwissenschaft und die Schaffung künstlicher Biotope wie Landwirtschaft und Verstädterung (nicht-gewachsene Natur), in denen einmal erkannte Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung technisch umgesetzt werden mit dem Ziel, eine über die natürlichen Grenzen der Besiedlungsdichte hinausgehende Ressourcen-Nutzung zu ermöglichen, haben das Denken über die Zukunft revolutioniert. Gesellschaftliches Handeln in der Gegenwart schafft die Voraussetzung für zukünftige Lebensbedingungen, wobei es nicht mehr *die* Zukunft, sondern eine *Auswahl von Zukünften* gibt. Dies gilt zumindest für hochentwickelte Industriegesellschaften. Damit verbunden ist der Auftrag, Optionen in der Gestaltung der Gegenwart wahrzunehmen und bewußt diejenigen auszuwählen, bei denen die geringsten negativen Folgewirkungen zu erwarten sind. Dieser Auftrag ist nicht auf menschliches Handeln beschränkt: Auch Naturkatastrophen wie Erdbeben oder Überflutungen können durch Vorsorgemaßnahmen in ihren Auswirkungen gemildert werden.

Die Einsicht in die partielle Gestaltbarkeit zukünftiger Lebensbedingungen setzt ein verändertes Selbstverständnis der Gesellschaft in bezug auf Handlungsspielräume, Verantwortlichkeiten und Schuldzuweisungen voraus: Je deutlicher sich die Gesellschaft der Steuerbarkeit zukünf-

tiger Folgen bewußt wird, desto nachdrücklicher wird von dem auf Erkenntnisgewinn spezialisierten Subsystem „Wissenschaft" erwartet, daß es die potentiellen Konsequenzen gegenwärtiger Handlungen präzisiert und nach Möglichkeit quantifiziert, damit die Optionen für gegenwärtiges Handeln miteinander verglichen werden können. Gleichzeitig wächst der Anspruch an die politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträger, die Verantwortung für künftige Nebenfolgen technischer, ökonomischer oder politischer Handlungen zu übernehmen. Wie R. Spaemann kritisch anmerkt, mag sich die moderne Gesellschaft mit dieser generellen Optimierungspflicht übernehmen [SPAEMANN 1980: 192]. Da negative Nebenfolgen dennoch auftreten, verstärkt sich auf der einen Seite der Druck auf die Wissenschaft, sich noch intensiver auf die Antizipation unbeabsichtigter Folgen zu konzentrieren und damit ihrerseits einen Teil der politischen Verantwortung für Entscheidungen zu übernehmen. Auf der anderen Seite führt der Verantwortungsdruck zu einer Verbürokratisierung von Entscheidungen: Politische und wirtschaftliche Verantwortung wird entpersonalisiert und einer diffusen, inter-institutionellen Allianz übertragen, die U. Beck in seinem Buch über die Risikogesellschaft in Anlehnung an H. Arendt als „Niemandsherrschaft" charakterisiert hat [BECK 1986].

Verantwortung und Schuld sind eng miteinander verknüpft. Die mythologische Schuldzuweisung als Folge ideologischer oder religiöser Kausalinterpretationen wird mit zunehmender Einsicht in die Verursachung von Bedrohungen und Katastrophen abgelöst durch das Prinzip der instrumentalen Schuldverursachung [RENN 1984:31]. So erfahren Naturkatastrophen eine natürliche Erklärung und können durch technische und organisatorische Maßnahmen (z.B. Blitzableiter, vorzeitige Evakuierung) entschärft werden; so lassen sich wirtschaftliche Mißerfolge wie Mißernten auf personales Versagen zurückführen; und so sind auch technisch bedingte Gefährdungen etwa durch Unfälle oder Umweltverschmutzung prinzipiell vorhersehbar und damit von den potentiellen Verursachern beziehungsweise Nutznießern zu verantworten. Schäden sind vermeidbar, und ihre Nichtvermeidung bedeutet Schuld. Wer Entscheidungen mit kollektiv bindendem Charakter fällt, macht sich schuldig, wenn es zu nicht beabsichtigten Nebenfolgen kommt. Die Unkenntnis möglicher Folgen mag als mildernder Umstand für individuelles Fehlverhalten gelten; die kollektive Schuldzuweisung und das Verursacherprinzip bleiben davon unberührt.

Die zunehmende Bereitschaft der Gesellschaft, Verantwortung für zu-

künftige Lebensbedingungen zu tragen, hat die Risikoforschung erheblich vorangetrieben: Zum einen wächst der objektive Bedarf an Antizipationsforschung, zumal die Tragweite menschlichen Handelns längst globale Auswirkungen bis hin zur potentiellen Selbstzerstörung umfaßt; zum anderen bedingt die Ausweitung der Verantwortlichkeit für künftige Ereignisse und ihre Folgen eine Erweiterung der Legitimationsbasis für kollektive Entscheidungen durch wissenschaftliche Rationalisierung. Gerade der Legitimierungsbedarf der Politik an wissenschaftlichen Gutachten zu absehbaren Nebenfolgen hat maßgeblich zur Politisierung der Wissenschaft beigetragen und eine kritische Reflexion über Rolle und Funktion der Wissenschaft bei der Erfassung und Beurteilung von Risiken in Gang gesetzt [NELKIN 1975].

In den folgenden Abschnitten soll diese Diskussion aufgegriffen werden: Die Grundlagen der bisherigen Risikoforschung werden kritisch erörtert, um daraus Ansätze zu einer umfassenderen, systematischen Beurteilung der Risikoproblematik abzuleiten.

Perspektiven der Risikoforschung

Technische Risikoabschätzungen hatten im Zusammenhang mit der Aufstellung von Sicherheitskriterien bereits im 19. Jahrhundert bei der Einführung der Dampfmaschine eine Rolle gespielt, entwickelten sich aber erst Anfang der 60er Jahre insbesondere aus Statistik und mathematischer Wahrscheinlichkeitstheorie und ihrer Anwendung in der Versicherungswissenschaft, aus technischen Zuverlässigkeits- und Fehleranalysen sowie aus ökonomischen Verfahren wie Kosten-Nutzen-Analysen und Kosten-Effizienz-Berechnungen. Vor allem der Ausbau von Kerntechnik und Raumforschung trug dazu bei, daß Risikoabschätzungen zu zentralen Elementen der Gestaltung und Bewertung neuer Technologien wurden: Das Bewußtsein des inhärenten Katastrophenpotentials beispielsweise kerntechnischer Anlagen machte die Antizipation möglicher Störfälle und ihre Beherrschung zu einer Herausforderung für Wissenschaft und Politik.

Probabilistische Risikostudien und technische Fehleranalysen

Das wesentliche mathematische Rüstzeug zur Antizipation möglicher technischer Störungen ist die Wahrscheinlichkeitsrechnung, mit deren Hilfe auf die relative Häufigkeit technisch bedingter Systemstörungen geschlossen werden kann. Diese Berechnungen bilden mehr und mehr die Grundlage zur Konzeption entsprechender Gegenmaßnahmen. Aus Zuverlässigkeitsanalysen für technische Einzelkomponenten werden die Grunddaten für die Ausfallwahrscheinlichkeit von Systemkomponenten entnommen und in sequentieller Anordnung zu Fehler- oder Ereignisbäumen synthetisiert. Entsprechend ist *Risiko* dann als *Produkt aus Eintretenswahrscheinlichkeit*[1] *und Schadensfolge* zu verstehen. Die so synthetisierten Wahrscheinlichkeitsaussagen für Systemversagen können dementsprechend mit anderen Wahrscheinlichkeitsrechnungen für alternative Systeme oder Systemkomponenten verglichen und zur Bilanzierung des Gesamtrisikos verarbeitet werden. Das resultierende Risiko, ausgedrückt in Erwartungswerten für Schadensfälle pro Zeiteinheit (Häufigkeiten), ist anschließend durch optimale Kombination von risikoarmen Systemkomponenten und durch Modifikation kritischer Knotenpunkte im System zu reduzieren. Gleichzeitig werden die Risikowerte für das Gesamtversagen des Systems als Anhaltspunkte über die relative Gefährlichkeit eines technischen Systems gegenüber anderen Risikoquellen benutzt. Daß solche Risikovergleiche häufig unzulänglich sind und nur bedingt Rückschlüsse auch auf die Akzeptabilität eines technischen Systems erlauben, wird weiter unten noch ausführlich erörtert.

Frühe Risikoberechnungen, die mit dieser Methode der synthetischen Verschmelzung von Einzelanalysen technischer Komponenten zu einer systemübergreifenden Gesamtanalyse durchgeführt wurden, waren speziell auf die Kerntechnik zugeschnitten. Die ersten Untersuchungen stammen von dem englischen Risikoforscher R. Farmer [FARMER 1967]. Die darauf folgende umfassende Risikostudie von J. Rasmussen [WASH – 1400 1975] und anderen in den USA löste dann eine wahre Explosion probabilistischer Risikostudien aus, die nahezu alle Länder der Welt erfaßten und über den Bereich der Kerntechnik hinausgingen. Mit der deutschen Reaktorsicherheitsstudie der Gesellschaft für Reaktorsicherheit wurde auch in der Bundesrepublik Deutschland das Verfahren der probabilistischen Risikoanalyse in großem Maßstab einge-

führt [GRS 1979] und in der Phase B dieser Studie weiterentwickelt [GRS 1989].

Psychologische Untersuchungen zur Risikowahrnehmung

Die ersten Ergebnisse solcher Risikostudien ließen zwar eine geringe Wahrscheinlichkeit für atomare Katastrophen erkennen, doch das politische und soziale System konzentrierte sich gerade auf solche Katastrophen. Dieser Gegensatz zwischen Expertenwahrnehmung von Gefährdung einerseits und ihrer sozialen Wahrnehmung andererseits forderte die Psychologen heraus, sich mit den Mechanismen der Risikowahrnehmung im Sinne eines kognitiven Beurteilungsprozesses zu befassen. Nach einer ersten Studie von Ch. Starr über die unterschiedliche Akzeptabilität von freiwillig übernommenem Risiko gegenüber unfreiwillig übernommenem Risiko [STARR 1969] folgte eine Flut von psychologischen Untersuchungen zu den Mechanismen der intuitiven Erfassung und Bewertung von Risiken sowie zur Bedeutung sogenannter qualitativer Risikoattribute wie Freiwilligkeit und Möglichkeit zu persönlicher Beurteilung der Risikoquelle.

Allerdings führten die entscheidenden Untersuchungen in diesem Bereich zu anderen Ergebnissen, als dies die technischen Risikoforscher erhofft hatten: Die soziale Wahrnehmung ist nicht durch angeblich irrationale Denkprozesse geprägt; vielmehr erfolgt die Einschätzung des Risikos nach einsichtigen und legitimen Bewertungskriterien, die mehrere Dimensionen umfassen [FISCHHOFF *et al.* 1978; SLOVIC/FISCHHOFF/LICHTENSTEIN 1981; RENN 1984], so daß der Erwartungswert möglicher Verluste nur ein Aspekt unter vielen ist.

Ökonomische Ansätze

Neben den Psychologen befassen sich auch schon immer die Ökonomen mit dem Risikobegriff. In der Versicherungswirtschaft wird der Erwartungswert von Schadensereignissen bereits seit dem 19. Jahrhundert angewendet, um berechenbare Eintretenswahrscheinlichkeiten von Schäden (z.B. Sterbetafeln für die Lebensversicherung), Schadenshöhe (Auszahlungen von Versicherungsleistungen) und Prämienzahlungen in Einklang zu bringen. Ganz ausdrücklich ist dort Risiko als Produkt aus

Eintretenswahrscheinlichkeit und monetär (in Geldwerten) angegebener Schadensfolge definiert.

Zur Bewertung technischer Risiken erweist sich dieses Konzept jedoch als unzureichend: Zum einen können Risiken im ökonomischen Sinn nur im Kontext möglicher Gewinne – im Verhältnis zu ihrem Nutzen – beurteilt werden; zum anderen ist die Ausrichtung auf gesundheitliche oder umweltbezogene Auswirkungen mit dem ökonomischen Imperativ, Folgewirkungen durch monetäre Äquivalenzen auszudrücken, nicht vereinbar [FISCHER 1973]. Investitionen in die Entwicklung von Technologien behandelte die Wirtschaftswissenschaft zunächst als monetäres Risiko zwischen den Kosten (einschließlich der Folgekosten) einerseits und der durch die Investition zu erwartenden Kostenreduzierung andererseits. Mit zunehmender Bedeutung externer Folgen im Hinblick auf Umwelt, Gesundheit und soziale Fehlentwicklungen ergibt sich nunmehr die Notwendigkeit, das enge monetäre Konzept zu erweitern, indem nicht-monetäre Risiken und immaterielle Nutzwerte in die Bilanzierung aufgenommen werden.

Zunächst hatte die Ökonomie zwei prinzipiell unterschiedliche Verfahren entwickelt. Beim ersten Verfahren werden mit der *Kosten-Nutzen-Analyse* (bzw. verwandten Techniken wie der Kosten-Effizienz-Berechnung) monetäre Äquivalente für die einzelnen Schadenskategorien bestimmt, wobei in aller Regel die Kosten, die zur Beseitigung der Schäden notwendig wären oder zur Kompensation der Risikoträger aufgewendet werden müßten, die Berechnungsgrundlage darstellen [KÜLP 1975:109f.]. Ziel dieses Verfahrens ist die Einführung eines für die Gesellschaft verbindlichen, „objektiven" Maßstabs zur Bewertung von Risiken.[2] Das zweite Verfahren ist die *mehrdimensionale Entscheidungsanalyse* (*multi-criteria decision analysis*), die vom Entscheidungsträger für jede einzelne Dimension Gewichtungen verlangt und Kommensurabilität aufgrund eines subjektiven Nutzenvergleichsmaßstabs herstellt.[3] Demgegenüber besteht der Beitrag der modernen ökonomischen Risikoanalyse in der Erkenntnis, daß der versicherungsmathematische Erwartungswert eines einzigen Schadensereignisses in der Regel nur unzureichend über technische Risiken Auskunft gibt und deshalb keine rationale Risikoerfassung beziehungsweise Risikobewertung (*risk assessment*) zuläßt [vgl. LIND 1982; ERDMANN 1987; ERDMANN 1988].

1. Technische Unfälle können *unterschiedliche Ausmaße mit unter-*

schiedlichen Eintretenswahrscheinlichkeiten annehmen. Sofern genügend Erfahrungen mit einer Technologie vorliegen, um entsprechende Eintretenswahrscheinlichkeiten – und seien dies auch nur subjektive Werte – quantifizieren zu können, wäre es in ökonomischem Sinn irrational, solche Informationen und Einschätzungen bei Entscheidungen über diese Technik nicht zu berücksichtigen. Konsequenterweise sollte sich die technische Risikoanalyse nicht allein auf ein einziges Schadensereignis (etwa einen größten denkbaren Unfall) beschränken, sondern alle denkbaren Szenarien mitbewerten. Dazu gehören harmlose Störfälle mit relativ geringen Schadensfolgen, aber hohen Eintretenswahrscheinlichkeiten, und Großschäden mit extrem niedrigen Eintretenswahrscheinlichkeiten ebenso wie – neben diesen beiden Extremfällen – Ereignisse mittlerer Schadenshöhen und Wahrscheinlichkeiten.

Um die vorhandenen Kenntnisse und Vorausschätzungen über die Unfallrisiken von Technologien bewerten zu können, empfiehlt sich eine graphische Darstellung der beiden Komponenten aller denkbaren Unfälle – die Eintretenswahrscheinlichkeiten und die korrespondierenden (erwarteten) Schadensausmaße. Dies geschieht mit Hilfe der sogenannten *Farmer*-Kurven [vgl. FARMER 1967; FRITZSCHE 1986:12f].[4] Abbildung 1 zeigt drei solcher Kurven als Risiko-Profile verschiedener Technologien. Die mit Technologie I verbundenen Unfallrisiken weisen eine geringe Eintretenswahrscheinlichkeit für Unfälle mit hohem Scha-

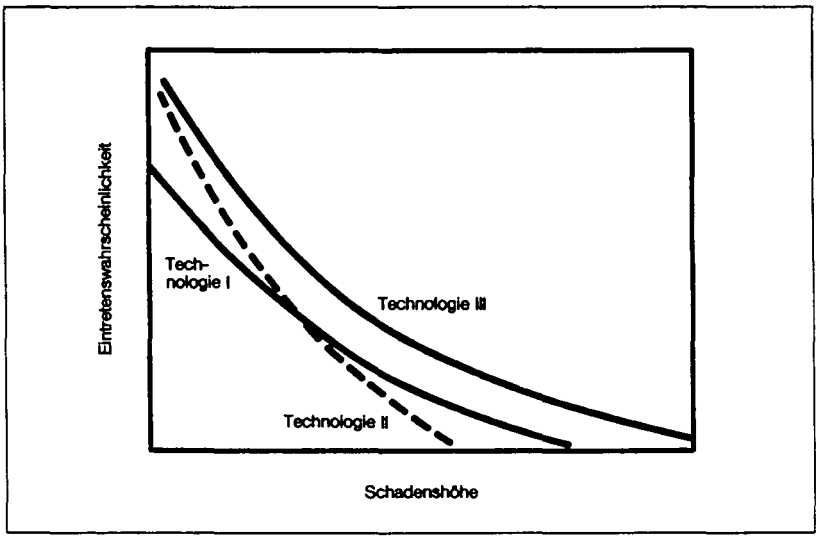


Abb. 7–1: **Risiko-Kurven (*Farmer*-Kurven)**

densausmaß auf, während Unfälle mit kleinem Schaden vergleichsweise unwahrscheinlich sind. Das Risiko von Technologie II ist umgekehrt verteilt: Unfälle mit geringen Schadensfolgen haben eine hohe Eintretenswahrscheinlichkeit, während Unfälle mit großen Schäden sehr unwahrscheinlich sind. Schließlich weist die Risiko-Kurve für Technologie III für Unfälle mit großen wie kleinen Schäden hohe Eintretenswahrscheinlichkeiten aus.

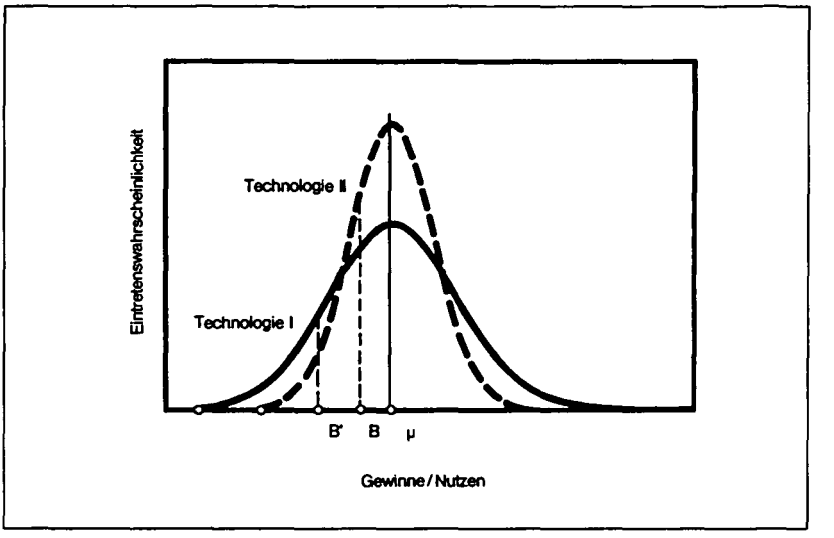
Falls die drei Technologien gegeneinander substituiert werden können, ist Technologie III unter Risikogesichtspunkten abzulehnen. Unter Risikogesichtspunkten erweist sich die Wahl der Technologie I oder II als angemessener. Mathematisch bedeutet dies, daß der Erwartungswert von Unfällen (μ), definiert als die Summe über alle Produkte aus Schadenshöhe (S_i) und Eintretenswahrscheinlichkeiten ($p(S_i)$), minimiert wird:

$$\mu = \sum_i S_i \, p(S_i)$$

Während also das Risiko von Technologie III eindeutig höher zu bewerten ist als das Risiko von Technologie I oder II, führt das Abwägen von Risiken anhand des Erwartungswerts von Unfällen im vorliegenden Fall zu keiner eindeutigen Rangordnung zwischen den Technologien I und II. Hierzu bedarf es einer weiteren ökonomischen Analyse.

2. Eine rationale Bewertung von Entscheidungen in Risikosituationen sollte nicht nur denkbare negative Implikationen, sondern auch die *ebenso möglichen positiven Szenarien* (bei störungsfreiem Betrieb der technischen Anlage) berücksichtigen. Wer beispielsweise würde den kommerziellen Flugbetrieb zulassen können, wollte man diese Technologie einzig anhand möglicher Schäden (Unfalltote) bewerten? Einen Sinn haben Technologien immer erst in Verbindung mit den Nutzenvorteilen, die zu stiften sie in der Lage sind. Zu deren Erfassung werden die *Farmer*-Kurven nach links fortgesetzt. Es ergeben sich dann Dichtefunktionen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die auch die Vorteile, gewichtet mit der entsprechenden Eintretenswahrscheinlichkeit, berücksichtigen. Für die beiden Technologien I und II könnten diese erweiterten *Farmer*-Kurven beispielsweise die Form von Glockenfunktionen aufweisen, wie sie in Abbildung 2 gezeigt sind.[5]

Um die bei ökonomischen Entscheidungen in Risikosituationen auftretenden Probleme zu verdeutlichen, ist hier wieder der Grenzfall ange-



Abkürzungen: μ = Erwartungswert
B = Sicherheitsäquivalent der risikoarmen Technologie
B´ = Sicherheitsäquivalent der risikoreichen Technologie

Abb. 7–2: **Dichtefunktion der Wahrscheinlichkeitsverteilung zweier Handlungsfolgen mit gleichem Erwartungswert und unterschiedlicher Varianz**

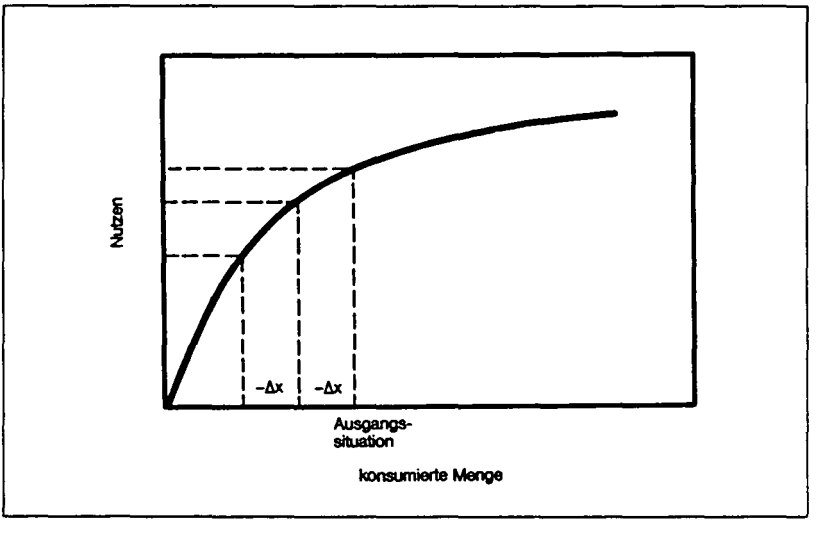


Abb. 7–3: **Nutzenfunktion mit abnehmendem Grenznutzen**

nommen: Die beiden Technologien unterscheiden sich in ihrem Risiko-Profil, doch stimmen die Erwartungswerte (μ) in beiden Fällen überein.

3. Entsprechend dem bei den meisten Menschen in den meisten Entscheidungssituationen anzutreffenden *risikoaversen Verhalten* wird aus ökonomischer Sicht diejenige Technologie mit der geringeren Varianz[6] bevorzugt. Dabei handelt es sich um ein durchaus rationales Verhalten, wenn man das Gesetz des abnehmenden Grenznutzens akzeptiert. Falls der Grenznutzen – entsprechend einer geradezu fundamentalen Annahme der Mikroökonomie *(1. Gossensches Gesetz)* – mit zunehmender Konsum- oder Ausstattungsmenge abnimmt, ist es für den einzelnen Akteur rational, sich risikoavers zu verhalten. Dem *Gossenschen Gesetz* zufolge ist nämlich ein doppelt so hoher Schaden in der Nutzenfunktion um mehr als nur das Doppelte des einfachen Schadens zu bewerten. Einmaligen, aber großen Schäden muß folglich ein höheres Risiko zugeordnet werden als der Summe mehrerer relativ häufiger Ereignisse mit kleinen Schäden.

Wie hoch dürfen solche Bewertungsunterschiede sein, um aus ökonomischer Sicht noch rational zu erscheinen? Diese aus dem Prinzip der Risikoaversion abgeleitete Frage führt auf methodisch höchst schwierige Probleme [vgl. SCHNEEWEISS 1967; GÄFGEN 1968; KRELLE 1968; MYERS/TURNBULL 1977; LIND 1982:64f.], deren Lösung bis heute noch nicht vollends gelungen ist. Als eine Näherungslösung eignen sich sogenannte (μ,δ)-Kriterien. Man berechnet für jede Technologie (k) den Erwartungswert (μ_k) und die Varianz (δ^2) und bildet das Entscheidungskriterium

$$E_k = \mu_k - \lambda\delta^2_k,$$

wobei λ ein von der Stärke der Risikoaversion abhängiger Entscheidungsparameter ist. Aus entscheidungstheoretischer Sicht ist dann die Technologie mit der höchsten Zielgröße (E_k) zu wählen. Risikoaversion läuft darauf hinaus, eine Technologie mit einer hohen Varianz des Vermögensrisikos oder Unfallrisikos erst dann als gleichwertig mit einer anderen Technologie anzusehen, wenn sie mit einem höheren Nutzertrag oder – bei Beschränkung auf Unfallszenarien – mit einem geringeren Erwartungswert von Risiken verbunden ist. In der Situation von Abbildung 1 beziehungsweise Abbildung 2 impliziert dies die Bevorzugung der Technologie II gegenüber der Technologie I.

Diese aus der Risikoaversion resultierende Bevorzugung entspricht der von jedermann als selbstverständlich angesehenen Regel auf den Finanz- und Kapitalmärkten, derzufolge riskante Investitionen einen Risikozuschlag auf den Zins[7] aufweisen: Eine riskante Investition ist mit einer höheren Rendite verbunden. Nachrangig gesicherte Wertpapiere (z.B. die zweite Hypothek) sind höher verzinst als erstrangige, Bundesobligationen höher als Wertpapiere privater Emittenten, Aktien höher als Obligationen usw. Setzt man die finanziellen Risiken der verschiedenen Finanzierungsinstrumente mit den am Markt erzielten Renditen in Beziehung, erhält man einen Anhaltspunkt für die Höhe der mittleren Risikoaversion der Finanzmärkte beziehungsweise für die Höhe des Parameters λ im oben genannten Ausdruck.

Doch auch dort, wo es nicht um finanzielle, sondern um gesundheitliche Risiken geht, kann man in vielen Fällen Risikoprämien empirisch beobachten und dadurch einen Anhaltspunkt für die Bewertung solcher Risiken in der Gesellschaft erhalten. So ist beispielsweise das Lohnniveau für die unter Tage arbeitenden Kumpel im Durchschnitt wesentlich höher als vergleichbare Einkommen für Arbeiten über Tage. Viele Tarifverträge sehen für besondere Gesundheitsrisiken explizite Risikoprämien vor. Sofern ein Beschäftigter in voller Kenntnis der Gefahren solcher Jobs einen entsprechenden Arbeitsvertrag eingeht, bringt er damit implizit den Umfang seiner Risikoaversion zum Ausdruck, denn mit der Risikoprämie akzeptiert er eine – subjektiv als hinreichend empfundene – Kompensation für das mit dem Job verbundene Gesundheitsrisiko.

4. Die moderne ökonomische Risikoanalyse geht noch einen Schritt weiter. Risiko ist eine *personen- und situationsbezogene Eigenschaft*. Aus der Sicht des Individuums kommt es nicht allein auf eine einzelne Technologie und das damit individuell verbundene Risiko an, wie mit dem Entscheidungskriterium in Risikosituationen im vorigen Abschnitt unterstellt wurde. Vielmehr muß der Einzelne prüfen, in welcher Weise sein individuelles Gesamtrisiko im Fall der Entscheidung zugunsten einer Technologie tangiert ist.

Es ist hilfreich, das Verhältnis zwischen Einzelrisiko und Gesamtrisiko am Beispiel des Erwerbs einer Versicherungspolice zu verdeutlichen: Als Einzelprojekt hat die Versicherungspolice einen unsicheren Ertrag (die Versicherung leistet nur Zahlungen bei Vorliegen eines Schadensfalls) und außerdem einen negativen Erwartungswert, der dem Verwaltungsaufwand zuzüglich des anteiligen Gewinns der Versicherungsge-

sellschaft entspricht. Daß diese für sich genommen also höchst negative „Investition" dennoch vorgenommen wird, hängt mit der damit verbundenen Verminderung des Gesamtrisikos von Vermögenseinbußen zusammen. Bei volkswirtschaftlicher Betrachtung wird das Gesamtrisiko gemessen durch Mittelwert und Varianz einer makroökonomischen Variablen wie Volkseinkommen, Kapitalstock oder Lebenserwartung. Entsprechend hat die volkswirtschaftliche Risikoanalyse technologischer Optionen die Kovarianz der Technikfolgen mit dem volkswirtschaftlichen Gesamtrisiko zu betrachten.

Auch dieser zunächst rein theoretisch erscheinende Gedankengang besitzt zahllose praktische Implikationen. Auf die Rolle von Versicherungen wurde bereits hingewiesen. Unter dem Stichwort *Diversifikation* wird im finanziellen wie im technischen Bereich eine Strategie der Vermeidung von Klumpenrisiken betrieben. Im Bereich der Energieversorgung etwa strebt die Energiepolitik eine möglichst breite internationale Streuung der Bezugsquellen an, um die eigene Volkswirtschaft nicht in Abhängigkeit von unkontrollierbaren politischen Entwicklungen eines anderen Landes zu bringen. Ähnlich verhalten sich die Elektrizitätsversorgungsunternehmen, wenn sie die Notwendigkeit von Kernenergie *und* Kohle betonen.

5. Schließlich spielt die *interpersonelle Risikoverteilung* eine Rolle [vgl. ARROW 1974; ARROW/LIND 1970]. Die gesellschaftliche Akzeptanz eines risikoreichen Vorhabens ist umso größer, je ausgeglichener die mit der Technologie verbundenen Risiken verteilt sind. In diesem Zusammenhang nennt man das Risiko *effizient* verteilt, wenn allfällige Schadensfolgen interpersonell breit gestreut sind und für keinen Gesellschaftsangehörigen einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung seines individuellen Gesamtrisikos bedingen. Im Bereich von Vermögensrisiken bewirken Versicherungen im allgemeinen eine gesamtwirtschaftlich effizientere Verteilung von Risiken. Aus ökonomischer Sicht darf man vermuten, daß ein vergleichbares Vorgehen wie ein erweitertes Haftungsrecht oder Ausgleichszahlungen an diejenigen Bürger, welche an den Standorten technischer Anlagen einem besonderen technischen Risiko ausgesetzt sind, die gesellschaftliche Akzeptanz technischer Risiken vergrößern.

Diese bislang wenig zur Kenntnis genommenen ökonomischen Einsichten zur Risikoproblematik sind zwar aufschlußreich, erweisen sich aber immer noch als unzureichend zur Bewertung technischer Risiken. Ins-

besondere ergeben sich zwei im Rahmen der ökonomischen Risikoanalyse kaum lösbare Probleme: Wie lassen sich die intersubjektiven Bewertungsunterschiede für Eintretenswahrscheinlichkeiten und Kostenfolgen zusammenfügen für die gesellschaftliche Entscheidungsfindung (Aggregierung), und wie können die unterschiedlichen Dimensionen von Risiko- und Nutzenkategorien gegeneinander aufgerechnet werden [vgl. FRITZSCHE 1986:467f.]? Im grundsätzlich heterogenen politischen Entscheidungsprozeß ist eine Einigung auf gemeinsame Bewertungs- und Gewichtungsfaktoren für eine Abwägung der verschiedenen Risiko- und Nutzendimensionen aus der Sicht der Ökonomen nur sehr schwer zu erzielen [vgl. SCHOEMAKER 1982].

Anthropologische und politikwissenschaftliche Ansätze

In Anbetracht der oben genannten Probleme und Schwierigkeiten befassen sich zunehmend auch die Politikforschung und die anthropologische Kulturforschung mit der Frage, wie in modernen Gesellschaften Wertkonflikte zwischen sozialen Gruppen ausgetragen werden und wie der Prozeß der Entscheidungsfindung bei Risikofragen abläuft. Erneut zeigt sich, daß die von Psychologen und Ökonomen thematisierten Probleme und Konflikte nur die Spitze eines Eisbergs darstellen und durch weitere Fragestellungen ergänzt werden müssen.

So hat die *anthropologische Kulturforschung* unterschiedliche Risikoprofile zwischen den verschiedenen Subkulturen der modernen Gesellschaft ermittelt, die auf unterschiedliche Sozialisationsmuster und Interpretationen von Ereignisketten, Denkschemata und Wertstrukturen zurückzuführen sind [DOUGLAS/WILDAVSKY 1982; RAYNER/CANTOR 1987]. Diese Gruppen entwickeln eigene, in sich geschlossene Strategien der Risikoerfassung und -bewertung, die mit den konkurrierenden Strategien anderer Gruppen nicht kompatibel sind. Häufig kommt nicht einmal ein Dialog zwischen den verschiedenen Gruppen zustande, da ein gemeinsames Ausgangskonzept zur Bestimmung von Risiko fehlt. Für die Risikoproblematik haben die Kulturforscher zwei antagonistische Gruppen – die *environmentalists* und die *entrepreneurs* – identifiziert, die völlig unterschiedliche Ansichten über Risiken und Strategien zu ihrer Bewertung vertreten.

Dagegen hat sich die *Politikforschung* mehr auf den Prozeß der Ent-

scheidungsfindung im Hinblick auf Risikoquellen konzentriert. Bedingt durch Wahrnehmungsdifferenzen zwischen technischen Experten und Laien, Uneinigkeiten innerhalb des Wissenschaftssystems sowie antagonistische Gruppendifferenzen ist dieser Entscheidungsprozeß einem ständigen Konflikt-Streß ausgesetzt, der die Legitimation und Akzeptanz politischer Entscheidungen erschüttert [NELKIN/POLLAK 1980]. In demokratischen Systemen beruht die Legitimation politischer Entscheidungen auf zwei wesentlichen Voraussetzungen: Sachkompetenz und Fairneß. In beiden Bereichen sind die Entscheidungssysteme fast aller westlichen Industriegesellschaften in arge Bedrängnis geraten: Zum einen stellen immer mehr soziale Gruppen die Sachadäquanz des politischen Entscheidungssystems in Frage; zum anderen bezweifeln sie die prinzipielle Offenheit und Bereitschaft des Systems, zwischen den Konfliktparteien eine faire Lösung im Hinblick auf Interessenvertretung und Verteilungsgerechtigkeit herbeizuführen [LUHMANN 1972:154-177; KITSCHELT 1980; RONGE 1983].[8] Auch haben einzelne Fallstudien, insbesondere im Bereich der Kernenergiepolitik, deutlich gezeigt, daß der Wunsch der Entscheidungsträger, durch Expertenbeteiligung (Erweiterung der Sachkompetenz) größere Legitimität einzukaufen, oft im Widerspruch zur zweiten Legitimationsvoraussetzung (Fairneß und Offenheit des Entscheidungsprozesses) steht [NOWOTNY 1979].

Soziologische und sozialphilosophische Risikoforschung

Legitimationsverluste des politischen Entscheidungssystems, Kommunikationsprobleme zwischen einzelnen gesellschaftlichen Subsystemen, die Politisierung der Wissenschaften und das Entstehen einer neuen sozialen Bewegung waren die Themen, mit denen die Politikwissenschaft in die Diskussion der Risikoproblematik eingestiegen ist. Diese Themen berühren gleichermaßen die Domäne von Soziologen und Sozialphilosophen. So dauerte es nicht lange, bis auch von diesen Disziplinen neue Impulse auf die Risikoforschung ausgingen.

Wichtigstes Anliegen der *soziologischen Risikoforschung* war die Frage, wie sich die Risikodebatte auf das Selbstverständnis des politischen Steuerungssystems auswirkt, inwieweit die Verteilung sozialer Ressourcen auf soziale Gruppen die Machtverhältnisse innerhalb der Gesellschaft bestimmt und welche Folgen diese Debatte für den institutionellen beziehungsweise generellen sozialen Wandel hat [PERROW

1984]. So waren Deprofessionalisierung und Pluralisierung von Wissenschaft und die damit verbundenen Veränderungen in ihrer Organisation und Öffentlichkeitswirksamkeit als Problembereiche soziologischer Analyse [LAKOFF 1972; WEINGART 1981] ebenso beliebt wie die Untersuchung von Macht und Einflußnahme sozialer Gruppen auf den Entscheidungsprozeß und die damit verbundene Verteilung der sozialen Ressourcen wie Macht, Geld, Prestige und Glaubwürdigkeit [LINNEROOTH 1983; KITSCHELT 1980] sowie die Erforschung der Kommunikationsprobleme zwischen gesellschaftlichen Subsystemen [PETERS 1984; MAZUR 1984]. Umfassende Wertungen der Risikoproblematik für gesellschaftliches Handeln und sozialen Wandel werden in den Büchern von Luhmann und Beck behandelt [LUHMANN 1986; BECK 1986].

Zur normativen Risikodiskussion im Rahmen der Fragestellung, wie die Gesellschaft mit der Antizipation und Bewältigung zukünftiger Nebenwirkungen umgehen sollte, meldeten sich *Philosophen und Ethiker* zu Wort. Der Braunschweiger Sozialphilosoph Zimmerli formulierte sogar einen Kant entlehnten kategorischen Imperativ: *Unterlasse alles Tun, bei dem Du nicht sicher sein kannst, daß Du die Nebenwirkungen beherrschen kannst* [ZIMMERLI 1982]. Der in Yale lehrende Soziologe Perrow entwickelte ein vollständiges Kategoriensystem für die Bewertung komplexer Risiken nach Maßgabe der sozialen Beherrschbarkeit ihrer Folgen [PERROW 1984]. D. MacLean aus Washington stellte ein Werte-*Tableau* zur Analyse und gegebenenfalls Korrektur der Verteilungswirkungen von Risiken vor [MACLEAN 1986].

Weitere Namen wären zu nennen, doch geht es hier nicht um die Auflistung relevanter Publikationen, sondern um die Vorstellung der unterschiedlichen Perspektiven in der Risikoforschung.

Systematisierung der Risikoproblematik

Ausgehend von den technischen Arbeiten der 60er Jahre[9] hat die Entwicklung der Risikoforschung nicht nur eine exponentielle Wachstumskurve der Publikationen durchlaufen [KATES/HOHENEMSER/KASPERSON 1985] und zu einer Professionalisierung eines neuen Wissen-

schaftszweigs mit eigener *Community* und neuen Lehrstühlen an Universitäten geführt, sondern auch das Spektrum der Perspektiven und Problembereiche ständig erweitert und komplexer gemacht. Dies hat einerseits zu einer adäquateren und umfassenderen Sicht von Risiko in der Gesellschaft beigetragen, andererseits aber das Risikokonzept diffuser, fragmentierter und unverbindlicher werden lassen. Vor allem fehlt es zur Zeit an integrierenden Ansätzen, mit deren Hilfe die verschiedenen Aspekte der bisherigen Perspektiven aufgegriffen und anhand plausibler Kriterien in einen größeren, doch zugleich präziseren und systematischen Begriffsrahmen eingefügt werden können.

In der vorliegenden Erörterung der Risikoforschung und ihrer Auswirkungen und Funktionen in der politischen Praxis ist diese Systematik weniger auf akademisch-deskriptives Erkenntnisinteresse als vielmehr auf die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Ansätze in bezug auf normative Risikogestaltung und Entscheidungsfindung in Risikosituationen auszurichten. Abbildung 4 vermittelt einen zusammenfassenden Überblick über die oben angesprochenen Risikoansätze: Ausgangspunkt ist die untere Zeile mit den verschiedenen Aspekten, unter denen Risiko betrachtet wird, wobei sich nach oben hin eine Charakterisierung der wissenschaftlichen Erfassung dieser Aspekte anschließt. Zunächst wird das für den gewählten Ansatz typische probabilistische Konzept und dann die zur Erzielung abgesicherter Aussagen angewendete Methodik angegeben. Anschließend werden ein bis zwei Anwendungsbeispiele genannt. Die beiden oberen Kriterien beschreiben die analytische Funktion der jeweiligen Ansätze aus instrumenteller und gesellschaftlicher Sicht: Im ersten Fall geht es um die methodologische Leistungsfähigkeit des jeweiligen Ansatzes, im zweiten um das gesellschaftlich wünschenswerte Ziel, das mit Hilfe dieses Ansatzes anzustreben ist.

Risikoerfassung

Bei der Risikoerfassung – der quantitativen Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten für negative Auswirkungen – (Spalte 1) reicht in aller Regel der als Mittelwert einer relativen Häufigkeit definierte Erwartungswert, multipliziert mit der Schadensfolge, aus. Allerdings sind zwei Voraussetzungen zu erfüllen: Zum einen muß genügend statistisches Material vorliegen, um aussagefähige Mittelwerte bilden zu können; zum anderen dürfen sich die Randbedingungen nicht ständig ändern, damit die Trendanalysen der Vergangenheit auf zukünftige Ent-

Kriterien	Ansätze und Perspektiven					
gesellschaftliche Funktion	Risiko-absicherung	Risiko-reduktion	Risiko-Nutzen-Abwägung	Individuelle Akzeptanz	Verteilungs-gerechtigkeit	politische Legitimation
Instrumentelle Funktion	Früh-warnung	Identifikation von Gefahren	*Budget*-Allokation	Wahr-nehmungs-profil	Interessen-ausgleich	rationales demokratisches Verfahren
Anwendungen	Versicherung / Statistik	technische Sicherheit / Gesundheit	Planung / Kosten-effizienz	Information / System-Modifikation	Kompensation / Organisation	Verfahren / Kontrolle
Methodik	probabilistische Theorie	Fehlerbaum-analyse	Risiko-Nutzen-Vergleich	Psychometrik / Einstellung	Werbaum-analyse / Arena-Konzept	*Policy*-Forschung + -Design
zentraler Aspekt	Erwartungs-wert	synthetischer Erwartungswert	Erwartungs-nutzen	subjektiver Erwartungs-nutzen	soziale Nutzen-verteilung	gesellschaftlicher Nettonutzen
Ausgangskonzept	Risiko-erfassung	Risikoanalyse	Kosten-Nutzen-Analyse	Risiko-wahrnehmung	Sozial-verträglichkeit	Risikopolitik

Abb. 7–4: **Risikoansätze und ihre Kriterien**

wicklungen extrapoliert werden können. Bestes Anwendungsbeispiel ist die Lebensversicherung, doch auch technische Ausfälle oder Autounfälle, die häufig und mehr oder weniger unabhängig voneinander auftreten, lassen sich mit diesem Ansatz erfassen [HUPPMANN 1982].

Das Ergebnis ist ein einfacher Zahlenwert, der uns angibt, wie oft ein bestimmtes Schadensereignis (z.B. Autounfall oder Borkenkäferbefall in einem Waldabschnitt) pro Zeiteinheit zu erwarten ist, wobei über die zeitliche und örtliche Verteilung dieses Risikos nichts ausgesagt wird. Solche Zahlenangaben ermöglichen Rückschlüsse auf wachsende oder auch sinkende Gefährdungen über einen längeren Zeitraum und liefern relative Indikatoren für den Grad der aggregierten Gefährdung, die mit der entsprechenden Quelle verbunden ist. Wie weiter unten noch ausführlich zu erörtern ist, kann eine solche Zahlenangabe nur ein Anhaltspunkt unter vielen für die Akzeptabilität einer Risikoquelle sein.

Risikoanalyse

Ähnliches gilt für den zweiten Bereich – die probabilistische Risikoanalyse (Spalte 2). Im Gegensatz zum statistisch ermittelten Erwartungswert bei der Risikoerfassung werden hier jedoch Ausfallwahrschein-

lichkeiten synthetisiert [HAUPTMANNS/HERTTRICH/WERNER 1987:1-40]. Diese Risikoberechnungen beziehen sich auf drei unterschiedliche Arten von Risikoquellen:

1. Systemausfälle sind so selten, daß nicht genügend Datenmaterial vorliegt, um Häufigkeitsverteilungen sinnvoll erstellen zu können (Beispiel: Dammbruch).

2. Entwicklungen haben erst kürzlich stattgefunden, so daß noch nicht genügend Erfahrungswerte vorliegen, um einen statistisch aussagefähigen Mittelwert erkennen zu lassen (Beispiel: Gentechnologien).

3. Beziehungen zwischen der Dosis des Gefährdungspotentials und seiner Wirkung auf Mensch und Umwelt können statistisch nicht nachgewiesen werden (Beispiel: schwache Strahlung oder Pestizidrückstände).

Im ersten Fall ist die Mittelwertbildung durch eine längerfristige Trendanalyse zu ersetzen. Im zweiten Fall muß das Gesamtsystem in Einzelkomponenten zerlegt werden, für die in aller Regel Ausfallwahrscheinlichkeiten aus anderen Anwendungen vorliegen. Verfahren wie die Fehlerbaumanalyse bieten dann die Möglichkeit, Störfälle durchzuspielen und deren Wahrscheinlichkeiten zu berechnen. Im dritten Fall geht es darum, entweder Modellannahmen über die entsprechende Wirkung auf den Menschen aus Tierexperimenten abzuleiten oder aber aus Beziehungen zwischen Dosis und Wirkung, wie sie möglicherweise für hohe Dosiskonzentrationen bereits vorliegen, Rückschlüsse auf niedrige Dosen zu ziehen. In allen Fällen spielen Expertenurteile eine wichtige Rolle: Sie lassen sich selten objektiv nachprüfen, sondern allenfalls plausibel machen. Daher sind gerade im Bereich der probabilistischen Risikoanalyse für den gleichen Sachverhalt vielfach unterschiedliche Ableitungen anzutreffen, die keineswegs aus Unkenntnis oder Bestechlichkeit der einen oder anderen Wissenschaftlergruppe herrühren, sondern vielmehr unterschiedliche Modellannahmen oder verschiedene Strategien zur Behandlung von Unsicherheiten in der Vorhersage widerspiegeln. Die Mehrdeutigkeit der Ergebnisse und der damit verbundene Interpretationsspielraum ist damit inhärent vorgegeben [RENN 1985; LYNN 1986].

So liegen beispielsweise die Schätzungen für die infolge des Unfalls in Tschernobyl in den nächsten 50 Jahren zu erwartenden Krebsfälle bei einer Bevölkerung von etwa 300 Millionen Menschen zwischen 0 und

28000 [DOE 1987; HOHENEMSER/RENN 1988]. Der untere wie der obere Schätzwert lassen sich plausibel aus Modellannahmen über die Wirkung kleiner Strahlendosen ableiten. Allerdings ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, daß auch dem Mittelwert zwischen den Extremen 0 und 28000 kein herausgehobener Wahrheitswert zukommt. Vielmehr liegt bei einer derartigen Streuung der Ergebnisse politischer Zahlenmißbrauch nahe: Gegner operieren meist mit dem oberen Grenzwert, Befürworter eher mit dem unteren. Zur vollständigen Beurteilung des Sachverhalts gehört aber auch die Tatsache, daß sich das Krebsrisiko für das einzelne Individuum selbst bei Annahme des oberen Schwellenwerts um lediglich 0,02 Prozent erhöht. Die Schwierigkeit der Beurteilung besteht also darin, die Bandbreite der technisch-wissenschaftlich vertretbaren Abschätzungen zu begreifen und die Bezugsgröße genau zu bestimmen: Vom Individuum aus gesehen war das Strahlenrisiko infolge des *Fallout* von Tschernobyl als denkbar gering einzustufen; für die gesamteuropäische Bevölkerung dagegen war bei pessimistischer Einschätzung der Sachlage ein erhebliches Risiko anzunehmen, denn selbst eine geringe Wahrscheinlichkeit von etwa 0,02 Prozent führt bei Multiplikation mit einer großen Zahl wie der europäischen Bevölkerungszahl von 300 Millionen zu hohen Zahlenwerten, die aus absoluter Sicht als nicht-akzeptabel gelten können [HÄFELE 1987].

Wie weiter unten näher auszuführen ist, dienen probabilistische Risikoanalysen trotz technischer Ausgefeiltheit nicht der Beantwortung der Akzeptabilitätsfrage, sondern vielmehr der Identifikation von Schwachstellen im System und der Abschätzung komplexer Wirkungsketten auf Gesundheit und Umwelt. Für die politische Entscheidungsfindung stellen solche Analysen Anhaltspunkte für *Budget*-Allokationen dar: An welcher Stelle sind Maßnahmen zur Risikoreduzierung besonders wirksam? Auch als Indikator zur Prioritätensetzung sind probabilistische Analysen geeignet: Welche Risikoquelle ist als erste zu untersuchen?

Kosten-Nutzen-Analyse

Ökonomische Ansätze, insbesondere die Kosten-Nutzen-Analyse (Spalte 3), zielen eher auf wissenschaftlich-technische Akzeptabilität und gesellschaftliche Akzeptanz ab. Nicht mehr die Wahrscheinlichkeit negativer Auswirkungen steht im Mittelpunkt der Analyse, sondern der mit der Risikoquelle verbundene Nutzen beziehungsweise Schaden.

Nun können Risiken als solche nicht beurteilt werden: Es muß wieder einen Vergleichsmaßstab geben, der eine relative Einordnung des jeweiligen Risikos in einen wirtschaftlichen oder sozialen Kontext erlaubt. Dieser Vergleichsmaßstab ist aus ökonomischer Sicht der mit der Maßnahme verbundene Nutzen. Stehen wie bei der Stromerzeugung mehrere Optionen zur Verfügung, so ist das Verfahren oder die Verfahrenskombination mit dem größten Nettonutzen zu wählen. Auf diese Weise läßt sich der Grundsatz wirtschaftlichen Handelns, ein gegebenes Ziel mit möglichst geringem Mittelaufwand zu erreichen, optimal verwirklichen.

Die grundlegende Funktion ökonomischer Risikoanalysen besteht darin, die begrenzten volkswirtschaftlichen Mittel so zu verteilen, daß die negativen Auswirkungen insgesamt bei gleicher wirtschaftlicher Leistung minimiert werden. Im Gegensatz zu den eingangs aufgezeigten Einschränkungen ökonomischer Risikoanalysen bei der Bewertung technischer Risiken setzt dies natürlich voraus, daß ein einheitlicher Maßstab für die Beurteilung unterschiedlicher Schadenskategorien vorliegt und Verteilungseffekte unberücksichtigt bleiben.

Risikowahrnehmung

Die Annahmen eines intersubjektiv vorgegebenen Nutzenbewertungsmaßstabs wird mit dem Konzept der Risikowahrnehmung (Spalte 4) aufgegeben und durch den subjektiven Maßstab des wahrgenommenen Nutzenentzugs beziehungsweise Nutzengewinns ersetzt. Das Konzept des subjektiven Erwartungsnutzens ist deshalb die zentrale Kategorie der Perzeptionsforschung: Jedes Individuum schätzt das Risiko einer Anlage oder einer Aktivität mit Hilfe psychischer Heurismen der Urteilsbildung auf der Basis eigener Erfahrungen, neugewonnener Informationen und sozialer Normen ab. Psychometrische Verfahren bieten die Möglichkeit, die Attribute der Risikowahrnehmung zu identifizieren und den subjektiv empfundenen Nutzen oder Schaden zu messen. So entstehen Wahrnehmungsprofile, die dazu dienen, technische Systeme nicht nur nach Gesichtspunkten der Kosteneffizienz, sondern auch unter dem Aspekt der individuellen Akzeptanz zu bewerten beziehungsweise zu modifizieren [RENN 1984].

Allerdings führt dieser Ansatz in der politischen Praxis zu zwei Schwierigkeiten: Wie können einerseits subjektive Fehlschätzungen von Nutz-

werten aufgrund unvollständiger oder fehlerhafter Kenntnisse korrigiert und andererseits subjektive Urteile einzelner Individuen aggregiert werden? Im Rahmen des ersten Problembereichs bietet die normative Entscheidungsanalyse Verfahren an, die darauf abzielen, die bewertenden Individuen mit den notwendigen Informationen zu versorgen und ihnen gleichzeitig rationale Entscheidungshilfen zum Vergleich unterschiedlicher Nutzen- und Schadenskategorien bereitzustellen [FISCHHOFF *et al.* 1981; KEENEY 1982]. Für den zweiten Problembereich gibt es derzeit noch keine zufriedenstellende Lösungsmöglichkeit – es sei denn, man führt Verfahren der Konfliktaustragung und Kompromißbildung als Mittel zur Homogenisierung von Präferenzen ein.

Sozialverträglichkeit

Das Kriterium der Sozialverträglichkeit (Spalte 5) umfaßt vor allem die bei technischen und ökonomischen Risikoanalysen nicht berücksichtigten Verteilungseffekte: Risiken sind dann mit der gesellschaftlichen Ordnung unverträglich, wenn ihre Realisierung zu Interessen- und Wertkonflikten führt, die im Rahmen demokratischer Entscheidungsfindung nicht mehr zu lösen sind [RENN *et al.* 1985; MEYER-ABICH 1979]. In diesem Zusammenhang werden Wertbaum- oder Politikfeldanalysen durchgeführt, um die Verteilungseffekte von Nutzen und Risiko zu bestimmen und monetäre oder politische Kompensationsmaßnahmen zu erarbeiten. Dabei beziehen sich die Verteilungseffekte auf

1. geographische Risiko- und Nutzenverteilung,
2. zeitliche Risiko- und Nutzenverteilung (einschließlich zukünftiger Generationen),
3. soziale Risiko- und Nutzenverteilung (innerhalb unterschiedlicher Gruppen oder Schichten)
   sowie
4. prozessuale Fairneß (gerechte Beteiligung an der Entscheidungsfindung).

Die Funktion verteilungstheoretischer Risikoanalysen besteht darin, Verteilungsgerechtigkeit herzustellen und einen Ausgleich konfligierender Interessen herbeizuführen. Dabei hat sich in der einschlägigen Literatur die Erkenntnis durchgesetzt, daß es objektive Verfahren zur Festlegung von Verteilungsgerechtigkeit nicht gibt [MACLEAN 1986; KASPERSON/DEW/KATES 1983]. Zwar lassen sich intersubjektive Kriteri-

en der Beurteilung angeben, aber auch diese müssen in einem konsensualen Verfahren vereinbart werden. Wie Kneese und seine Mitarbeiter kürzlich in einem Artikel über die Verteilungsgerechtigkeit nuklearer Abfallstätten eindrucksvoll dokumentiert haben, fallen die Ergebnisse verteilungstheoretischer Analysen je nach Verwendung eines utilitaristischen, egalitären beziehungsweise elitären Kriteriensatzes sehr unterschiedlich aus [KNEESE *et al.* 1983].

Risikopolitik

Die Synthese all dieser Ansätze zur Risikopolitik ist in der letzten Spalte in Abbildung 4 beschrieben. In diesem Zusammenhang geht es darum, den quantitativ nicht meßbaren gesellschaftlichen Gesamtnutzen im Sinne des Allgemeinwohls zu beurteilen. In Anbetracht der Schwierigkeit, individuelle Nutzenerwägungen zu aggregieren und die unterschiedlichen Verteilungseffekte von Risiken und Nutzen zu erfassen oder gar zu bemessen, haben die Politikforscher und Planungswissenschaftler wohlweislich darauf verzichtet, normative Risikomodelle zu entwickeln, die eine umfassende Bewertung nach dem gesellschaftlichen Nutzen ermöglichen. Ihr Interesse gilt vielmehr dem Verfahren der Entscheidungsfindung: Wie lassen sich Verfahren institutionalisieren, die eine Beteiligung der durch die Risikoquellen betroffenen Bürger einschließlich der potentiellen Nutznießer, eine ökonomische Kostenkontrolle und zugleich Kompatibilität mit den langfristig als Bedrohung oder Chance erkannten gesellschaftlichen Entwicklungen gewährleisten? Auch diese Frage ist nicht eindeutig zu beantworten, aber inzwischen sind verschiedene Planungsverfahren und Partizipationsmodelle entwickelt und teilweise bereits angewendet worden, die auf einen Kompromiß zwischen technisch-ökonomischer Rationalität, Verteilungsgerechtigkeit und individueller Akzeptanz ausgerichtet sind [KEENEY *et al.* 1984; DIENEL 1978].

Die hier aufgeführten Ansätze sind somit aufeinander bezogen und schließen sich nicht gegenseitig aus. Jede höhere Ebene der Risikoerfassung, in Abbildung 4 durch die Abfolge der Spalten illustriert, setzt Einsicht in die jeweils vorangegangenen Ansätze voraus. Zur abschließenden Bewertung von Akzeptabilität sind deshalb alle hier vorgestellten Perspektiven einzubeziehen: die technische Bestimmung des Risikos als Indikator für relative Gefährlichkeit, die ökonomische Bestimmung des monetären Kosten-Nutzen-Verhältnisses, das Wahrnehmungsprofil als

Indikator für individuelle Akzeptanz und die soziale Verteilung von Risiken und Nutzen als Zeichen sozialer Gerechtigkeit. Darüber hinaus aber gilt es, insbesondere beim Risikokonzept großer technischer Systeme globalen Entwicklungstendenzen und Herausforderungen Rechnung zu tragen, die antizipative Anpassungsprozesse an veränderte Umweltbedingungen erforderlich machen.

Faktizität, Hypothetizität, Unsicherheit und Undeutlichkeit

Im Bereich technischer Risikoanalysen ist, wie bereits ausgeführt, ausschließlich mit der einfachen Definition von Risiko als dem Produkt aus Eintretenswahrscheinlichkeit und Schadensfolge gearbeitet worden. Insbesondere ermöglicht diese primär aus der Versicherungswirtschaft entlehnte Risikodefinition mit mathematisch berechenbaren Wahrscheinlichkeiten die Superponierung untereinander unabhängiger Teilrisiken, so daß sich beispielsweise mehrere kleine Risiken zu einem großen Risiko aufsummieren lassen. Ein so definiertes Risiko ist nichts weiter als eine einfache Zahlenangabe: Im Grenzbereich zwischen Faktizität und Hypothetizität verliert ein auf quantitative Angaben beschränkter Risikobegriff zunehmend an Bedeutung; in Anbetracht der mit nicht-linearen Systemen verbundenen Undeutlichkeiten ist er gänzlich sinnlos.

Risikokommunikation im innertechnischen und außertechnischen Bereich

Technische Risikoanalysen werden hauptsächlich beim Entwurf technischer Geräte und Systeme eingesetzt. Sind diese hinsichtlich Umfang und Wirkung begrenzt, ergeben sich im allgemeinen keine besonderen Probleme. So wird von einer elektronischen Rechenmaschine erwartet, daß ihre zahlreichen Komponenten mit einer gewissen Mindestzuverlässigkeit, d.h. mit einem vorzugebenden maximalen Versagensrisiko, arbeiten, wenn die Rechenmaschine für hinreichend lange Zeit fehlerfrei laufen soll. Ein weiteres Beispiel ist der Verkehrsbereich und insbesondere die Verkehrssicherheit von Kraftfahrzeugen. So tragisch Verkehrsunfälle sein können – ein Einzelschaden wird von der Öffentlichkeit wie vom Betroffenen selbst als begrenzter Schaden perzipiert, auch

wenn die Anzahl solcher Einzelschäden nicht unerheblich ist. Begrifflich anders stellen sich technische Risikoanalysen dar, wenn die Wirkungen technischer Geräte und Systeme nicht einfach begrenzt sind, wie immer eine solche Bedingung auch definiert sein mag. Sehr häufig ist damit ein wesentlich größerer Umfang der technischen Geräte und Systeme verbunden. Ein Beispiel dafür sind Kernkraftwerke: Auch hier geht es – in voller Analogie zum obigen Beispiel von der elektronischen Rechenmaschine – unter anderem um Betriebsfähigkeit und Verfügbarkeit der Anlage. Darüber hinaus jedoch geht es um das Nichteintreten großer Schadensfälle, deren Eintretenswahrscheinlichkeit hinreichend klein zu halten ist, damit selbst eine große Schadensfolge ein insgesamt begrenztes beziehungsweise nur kleines Risiko mit sich bringt. Was sich nun begrifflich anders darstellt, läßt sich anhand der für solche Eintretenswahrscheinlichkeiten ermittelten einfachen Zahlenangaben verdeutlichen: Ist davon die Rede, daß ein Schadensfall nur einmal in hunderttausend Jahren oder nur einmal in einer Million Jahren eintreten dürfe, so wird impliziert, daß ein derartiger Schadensfall *nie* einzutreten hat. Zu Recht ist an solcher Begriffsbildung Kritik geübt worden:

1. Der Wahrscheinlichkeitsbegriff sagt nicht nur nichts über das tatsächliche Eintreten eines Ereignisses aus, sondern auch nichts über den Zeitpunkt, zu dem ein Schadensereignis eintreten könnte. Vielmehr kann dies schon morgen oder aber weit jenseits des durch die Wahrscheinlichkeit angegebenen Zeithorizonts geschehen. Wahrscheinlichkeiten sind Mittelwerte von relativen Häufigkeiten, und wenn die Schadensfolgen groß sind, soll ein solcher Schaden nicht nur selten, sondern nie eintreten. Gerade bei großen Schadensfolgen bedeutet eine derartige Begriffsbildung einen erheblichen methodischen Nachteil.

2. Große Schadensfolgen sind nicht mit einfachen Zahlenangaben wie Versicherungssummen zu bezeichnen: Evakuierung, Krankheits- und Todesfälle lassen sich ebensowenig verrechnen wie menschliches Leid. Anstelle quantitativer, eindimensionaler Zahlenangaben hat die Charakterisierung großer Schadensfolgen vieldimensionale Attribute aufzuweisen, die auch qualitativer Art sein können. Unter anderem bedeutet dies, daß eine Superponierbarkeit von Risiken und damit die Verrechenbarkeit vieler kleiner Risiken mit einem großen Risiko nicht mehr gegeben ist.

Nun werden technische Risikoanalysen, wie sie hier vorgestellt wurden, häufig zum Vergleich technischer Entwürfe und deren wissenschaftlich-

technischer Akzeptabilität herangezogen. Dann stellt sich die Frage, ob und inwieweit ein Entwurf *A* besser oder schlechter ist als ein Entwurf *B*. Beispielsweise gilt es, zwei Entwürfe zur Notstromversorgung von Kernkraftwerken oder verschiedene Entwürfe ganzer Kernkraftwerke gegeneinander abzuwägen. Die für solche Zusammenhänge entwickelte Methodik der Fehler- und Ereignisbaumanalyse ist, wie weiter oben bereits erläutert, in der praktischen Anwendung sehr weit vorangetrieben worden und im Bereich der Kerntechnik insbesondere mit den Namen Rasmussen [WASH – 1400 1975] und Birkhofer [GRS 1979] verbunden. Wenn nun beim Entwurf großer technischer Geräte oder Systeme Vergleiche anstehen, ist bei einer Beurteilung im *innertechnischen Bereich* folgendes zu bedenken: Der methodische Nachteil, daß der Zeitpunkt eines möglichen Schadensfalls nicht vorhersagbar ist, kürzt sich gewissermaßen heraus, da er für *A* und *B* gleichermaßen zutrifft, wenn der zeitliche Verlauf der Risikoentwicklung ähnlich ist. Sinngemäß gilt dies auch für den zweiten Kritikpunkt: Die Entwürfe *A* und *B* sind in gleicher oder zumindest ähnlicher Weise von der begrifflichen Vieldimensionalität großer Schadensfolgen (Attributen in mehreren Dimensionen) betroffen, so daß durchaus gerechtfertigt ist, technische Risikoanalysen, wie sie hier vorgestellt worden sind, zu Vergleichszwecken auch auf Situationen mit kleinen Wahrscheinlichkeiten und großen Schadensfolgen anzuwenden.

Die Kommunikation eines Risikos im *außertechnischen Bereich* verlangt andere Überlegungen: Baugenehmigungen stehen an, und wenn die Anlage tatsächlich gebaut werden soll, geht es nicht mehr nur um wissenschaftlich-technische Akzeptabilität, sondern darüber hinaus um gesellschaftlich begründete Akzeptanz. In diesem Zusammenhang haben normativ-rationale Erwägungen und praktische Erfahrungen gleichermaßen gezeigt, daß kleine Wahrscheinlichkeiten bei der außertechnischen Kommunikation eines Risikos kaum eine Rolle spielen. Mit anderen Worten: Der bisher in Rede stehende Risikobegriff ist für die Diskussion technischer Systeme im außertechnischen Bereich nicht oder allenfalls bedingt geeignet. Vielmehr geht es, wo immer konkrete Baugenehmigungen großer technischer Anlagen anstehen, um Antizipation und schließlich um politische Verantwortung. Antizipationen aber beziehen sich auf die Zukunft, so daß es sich bei der begrifflichen Auseinandersetzung um Wahrscheinlichkeit und Schadensfolgen letztlich nur um mehr oder weniger gut begründete Hypothesen handeln kann.

Gut begründete Hypothesen beziehen die Naturgesetzlichkeit ein, auf der Technik beruht. Ohne Naturgesetzlichkeit läßt sich kein technischer Apparat entwerfen, bauen und betreiben, und insoweit bedeutet Naturgesetzlichkeit auch Vorhersage und Antizipation. Freilich hat solche Naturgesetzlichkeit immer die Form von *wenn/dann* – Aussagen, so daß die erforderlichen Anfangsbedingungen vollständig bekannt sein müssen. Das Wissen um die erforderlichen Anfangsbedingungen als solches ist dagegen nicht naturgesetzlich ableitbar – es muß vielmehr beschafft oder „vorgefunden" werden. Wegen ihres besonderen Charakters werden Anfangsbedingungen auch als „kontingent" bezeichnet, und die Auseinandersetzung mit diesem besonderen Charakter der Kontingenz führt zu der Feststellung, daß vollständige Kenntnis der für eine umfassende Anwendbarkeit von Naturgesetzlichkeit erforderlichen Anfangsbedingungen prinzipiell wie praktisch zumindest bei hinreichend großen technischen Vorrichtungen nicht gegeben ist. Dies ist letztlich der Grund, warum bei technischen Anlagen überhaupt von Eintretenswahrscheinlichkeiten für Schadensfälle zu sprechen ist: Beispielsweise kann eine vorher nicht festgestellte Rißbildung in einem Konstruktionsteil einer Autobremse zu Bremsversagen und damit zu einem Autounfall führen.

Wenn einerseits Naturgesetzlichkeit zumindest innerhalb gewisser Grenzen zu einer guten Begründung von Hypothesen (Antizipation der Zukunft) führt, so läßt sich andererseits auch das Verfahren von *trial and error* heranziehen: Wenn man schon nicht alles weiß, wird eben so lange mit *Versuch und Irrtum* gearbeitet, bis man hinreichend Erfahrung gesammelt hat und insoweit sicher ist. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß der Technische Überwachungsverein in Deutschland aus Dampfkessel-Überwachungsvereinen hervorgegangen ist. Diese Vereine leiteten im vorigen Jahrhundert aus der Erfahrung mit explodierenden Dampfkesseln technische Regeln ab, die heute den Betrieb solcher Anlagen als hinreichend sicher erscheinen lassen und somit zu deren Akzeptanz geführt haben.

Mit dieser bewußt extrem angelegten Argumentation soll auf den Zusammenhang zwischen Hypothetizität und Faktizität hingewiesen werden. Bei eingeübten technischen Verfahren wird niemand in Zweifel ziehen, daß etwa die Konstruktion einer Brücke oder eines Radiosenders auf naturgesetzlicher Basis beruht, und keiner wird davon spre-

chen, es handele sich bei betrieblichen Absprachen lediglich um Hypothesen bezüglich der Funktionsfähigkeit der in Rede stehenden technischen Einrichtungen. Auch wird niemand bei eingeübten technischen Verfahren aus der Tatsache, daß Tests für nötig gehalten und auch durchgeführt werden, auf das Zugrundeliegen bloßer Hypothesen schließen. Wenn nun aber technische Systeme größer und umfassender sind und bei Versagen zu sehr großen Schadensfolgen führen, ist zu beachten, daß – aus welchen Gründen auch immer – rigoroser argumentiert und empfunden wird. Erst dann ergeben sich die hier gestellten Rückfragen, und erst dann ist zwecks weitestgehender begrifflicher Klärung von Hypothesen die Rede. Auch wenn ein Kernkraftwerk entworfen und gebaut wird, ist der Ingenieur vom Wesen der Sache her gezwungen, mit begrenzten technischen Vorrichtungen und somit auch begrenzten Mitteln unbegrenzte Fragen zu beantworten. Technische Vorrichtungen sind zu realisierende oder bereits realisierte Konstrukte und weisen als Faktum immer eine bestimmte Größe mit vorfindbaren und angebbaren Merkmalen auf: Sie sind endgültig – sie sind faktisch. Damit ist der Bereich der *Faktizität* eröffnet. Risikofragen, die der Ingenieur im Bereich einer solchen Faktizität zu beantworten hat, führen hingegen in den Bereich der Hypothetizität und sind folglich unbegrenzt. Tatsächlich ist es die Kerntechnik gewesen, die von sich aus begonnen hat, hypothetische Unfälle zu betrachten. Dem so eröffneten Bereich der *Hypothetizität* kommt heute ganz besondere politische Relevanz zu: Einer global-ökologischen Singularität explodierender Bevölkerungszahlen kann wohl nur die Singularität einer immer umfassenderen Technik gegenübergestellt werden, die als Technik zivilisatorische Infrastrukturen und damit Lebensmöglichkeiten für eine solche Weltbevölkerung gewährleistet. In der Tat werden die technischen Systeme zivilisatorischer Infrastrukturen so groß, daß weder eine Erprobung als Ganzes möglich noch ihr Funktionieren naturgesetzlich zwingend zu erwarten ist. Diese Problematik der Hypothetizität hat sich in den letzten Jahren bei der Debatte um die *Strategic Defense Initiative (SDI)* der USA sehr deutlich gezeigt.

Im Gegensatz zum Bereich der Faktizität gibt es im Bereich der Hypothetizität nicht die selbstverständliche Vorfindbarkeit, Angebbarkeit und Endgültigkeit, denn es sind ständig andere, hinterfragbare und neue Hypothesen aufzustellen. Der Bereich der Hypothetizität ist grundsätzlich offen und damit unendlich. Ein solcher gedanklicher Vollzug könnte Anlaß sein, den Bereich der Hypothetizität zu *Information* in einem allgemeineren Sinn in Beziehung zu setzen: Information ist nicht mate-

riell, kann augenblicklich mehr oder weniger werden und ist unbegrenzt. Inbesondere bedeutet dies, daß Information keinem Erhaltungssatz im Sinne der Physik unterliegt [HÄFELE 1981,II: Kap. 21]. Für realisierte Konstrukte im Bereich der Faktizität gelten dagegen die Erhaltungssätze der Physik, die Erhaltung der Masse, der Energie und des Impulses und die Erhaltungssätze der Quantenphysik. Mit anderen Worten: Wenn realisierte Konstrukte da sind, sind sie da. Sie können nicht von einem Augenblick zum anderen instantane Hypothesenänderungen mitmachen. Diese verhältnismäßig abstrakte Formulierung findet ihre unmittelbare Entsprechung im konkreten Geschehen. So sieht das Genehmigungsverfahren für Kernkraftwerke vor, daß Kernkraftwerke nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zu genehmigen sind. Nur zu oft führt dies dazu, daß noch während der Bauphase neue Auflagen zu berücksichtigen und folglich in aller Regel erhebliche Mehrkosten und Terminüberschreitungen in Kauf zu nehmen sind, eben weil das Faktische dem Hypothetischen nur schwerlich zu folgen vermag.

Unsicherheit im Grenzbereich zwischen Faktizität und Hypothetizität

Faktizität und Hypothetizität sind derart unterschiedlich geprägt, daß eine Überbrückung allein aus dem innertechnischen Bereich heraus nicht möglich ist. In solchem Zusammenhang ist die von Ch. Starr formulierte Frage *Wie sicher ist sicher genug*? [STARR 1972; STARR/RUDMANN/WHIPPLE 1976] zu stellen: Der erste Teil der Frage – *wie sicher* – ist im Bereich der Hypothetizität angesiedelt, der zweite Teil – *sicher genug* – dagegen im Bereich der Faktizität. Und es handelt sich um eine Frage, nicht um eindeutig Vorfindbares, so daß eine Überbrückung zwischen Hypothetizität und Faktizität nur mit Absprachen und Festlegungen, die aus dem politisch-institutionell-gesellschaftlichen Bereich kommen, erfolgen kann. Die Frage nach der Sicherheit technischer Systeme ist somit letztlich nur im außertechnischen Bereich zu beantworten, und hier liegt die Bedeutung des Grenzbereichs zwischen Technik und Gesellschaft. Die Problematisierung von Technik und Gesellschaft ist daher keineswegs ein Nebenprodukt einer modernen, mit großen Systemen befaßten Technik, sondern vielmehr konstitutiv für den Vollzug dieser Technik. Letzten Endes geht es um die Frage der Akzeptabilität, die im Sinne der hier erläuterten Argumentation dem Bereich der Hypothetizität zuzuordnen ist, und um die Frage der Akzeptanz, die dann in den Bereich der Faktizität fällt.

Doch auch Setzungen aus dem politisch-institutionell-gesellschaftlichen Bereich bedürfen einer Orientierung. Wenn nun, wie oben erläutert, die absolute Argumentation nicht zum Ziel führt, kann es nur die *natürliche Erfahrung* sein. Dabei ist „natürliche Erfahrung" auf den Umgang mit der Welt und der Natur, in die wir als Menschen hineingeboren sind, nicht aber auf ein idealisierendes, verabsolutierendes Welt- und Naturverständnis zu beziehen: Natürliche Erfahrung reicht über begriffliche Abstraktionen hinaus und läßt qualitative Vergleiche, Abwägungen und Urteile zu. Die mit der Auslegung von Deichen etwa an der holländischen Küste verbundene Problematik mag dieses Kriterium der natürlichen Erfahrung verdeutlichen. Hier besteht die Offenheit hypothetischer Überlegungen in der Frage, ob sich die Küstenbewohner gegen Fluten schützen sollen, die einmal jährlich, einmal in hundert Jahren oder aber noch seltener und somit nur hypothetisch zu erwarten sind. Obwohl diese Überlegung vom Wesen her offen ist, findet sich *de facto* eine allgemein akzeptierte Antwort, weil sie in die natürliche Erfahrung Einzelner wie die ganzer Generationen eingebettet ist, auch wenn die ganz große Flut niemals ausgeschlossen werden kann. Bezeichnenderweise ist im Juristischen *die normative Kraft des Faktischen* als begriffliche Feststellung verankert. Diese Formulierung stellt eine treffende Verbindung her zwischen dem Bereich der Hypothetizität, aus dem Normen kommen, und dem Bereich der Faktizität, dem das Faktische angehört. Ebenso werden die hypothetischen Wirkungen kleiner Strahlendosen oder chemischer Toxen in Verdünnungsverhältnissen von 1 : 1 Milliarde, die Gefahr des Blitz- oder Meteoriteneinschlags und die Möglichkeit extremer Erkrankungen aus dem Bereich der natürlichen Erfahrung heraus bewältigt, gerade weil sie dort gar nicht oder aber so selten vorkommen, daß sie sich im gemeinschaftlichen Erfahrungsbewußtsein nicht wiederfinden. Mit anderen Worten: Es geht um die Einbettung *hypothetischer* Risiken in den Bereich *natürlicher* Welterfahrung durch einen Vergleich mit anderen, vorzugsweise natürlichen hypothetischen Risiken. Genauso verhält es sich mit den Setzungen aus politisch-institutionell-gesellschaftlichem Bereich, die für moderne, mit großen Systemen befaßte Technik konstitutiv sind.

Letztlich geht es bei dem so angesprochenen Wechselspiel zwischen Faktizität, Hypothetizität und den an der Nahtstelle zwischen Technik und Gesellschaft erforderlichen politisch-gesellschaftlichen Setzungen darum, den überschaubaren Bereich der Sicherheit ständig zu vergrößern und den Bereich verbleibender Unsicherheit ständig weiter hinauszuschieben. *Unsicherheit* charakterisiert somit den Grenzbereich

zwischen Faktizität und Hypothetizität: Zwar erfolgt eine Bezugnahme auf Faktisches, doch können nicht Fakten als solche herangezogen werden, weil die erforderliche Wissensbasis (noch) nicht ausreicht. Dabei ist Endgültigkeit im Sinne von Abgeschlossenheit nie zu erreichen – die Entwicklung geht ständig weiter.[10] Freilich liegt dabei die Annahme zugrunde, daß es grundsätzlich möglich ist, weitläufige und komplexe Systemzusammenhänge analytisch zu reduzieren, sie so zu verstehen und dann entsprechend zu behandeln. Dabei spielt das Konzept des Determinismus explizit oder implizit eine entscheidende Rolle. Wie anders könnte sonst von einer auf Naturgesetzlichkeit basierenden Technik die Rede sein? Die Beschaffung aller Anfangsbedingungen mag schwierig und im konkreten Fall aus praktischen Gründen sogar unmöglich sein, doch hat es sich als grundsätzlich vernünftig erwiesen, einen solchen Determinismus bei der technischen Risikoanalyse vorauszusetzen.

Undeutlichkeit nicht-linearer Systeme

Je komplexer nun zivilisatorische Systeme in ihren technischen, wirtschaftlichen und institutionellen Ausprägungen werden, desto nachhaltiger drängt sich der Eindruck auf, daß komplexe Systeme mehr sind als die Summe ihrer Elemente und, anders als im Bereich der Unsicherheit infolge subjektiven Nichtwissens, in erhebliche, objektiv vorhandene *Undeutlichkeiten* führen. Dieser Gedanke ist nicht neu, hat aber mit der Erörterung von nicht-linearer Dynamik und Entwicklungssprüngen erst seit kurzem Eingang in die wissenschaftliche Literatur gefunden [vgl. insbesondere PRIGOGINE 1979].[11] In der Tat spielt die Komplexität als Komplexität – angesprochen in der nicht-linearen Dynamik – vor allem in der Physik der kondensierten Materie wie überall dort, wo es um kollektive Phänomene geht, eine besondere Rolle. Dazu zählt auch der gesamte Bereich der Dynamik von Strömungen, wie er insbesondere bei der Wetter- und Klimaproblematik zu berücksichtigen ist. Gegenüber dem in der Begrifflichkeit der Physik bisher explizit oder implizit verwendeten Konzept des Determinismus sind es vor allem zwei Phänomene, die zum Verständnis nicht-linearer Dynamik beitragen.

Zum einen muß in bestimmten Bereichen zwischen starker und schwacher Kausalität unterschieden werden. Starke Kausalität ist in Systemen mit linearer Dynamik gegeben: Liegen zwei Ausgangszustände eines betrachteten Prozesses – beispielsweise bei einer mechanischen Bewe-

gung – nahe beieinander, so wird die zeitliche Evolution dieses Prozesses in einem angebbaren Sinn auch weiterhin nahe beieinander erfolgen. Eine solche Feststellung ist von großer praktischer Bedeutung, denn ein in technischem Sinn zu betrachtender Ausgangszustand kann in der Praxis immer nur bis zu einem gewissen Grad genau angegeben werden, und dieser Genauigkeitsgrad muß für eine technische Anwendung hinreichen. Bei schwacher Kausalität hingegen können bereits geringfügig voneinander abweichende Ausgangszustände bei hinreichend langer Evolution des Prozesses weit auseinanderlaufen. Zwar wird eine solche Evolution eindeutig durch den Ausgangszustand determiniert, doch dieser ist nur in der Theorie und niemals in irgendeinem praktischen Sinn so genau angebbar, daß die Determiniertheit operationalisiert werden könnte. Im Bereich der Wetter- und Klimavorhersagen führt dies zu der Einsicht, daß Vorhersagen immer nur für begrenzte Zeiträume möglich, letzten Endes hingegen *nicht* möglich sind. Diese Feststellung hat mit Überlegungen, wie sie in der Quantentheorie angestellt werden, nichts zu tun.

Zum anderen ist die nicht-lineare Dynamik durch das Zustandekommen von Schocks und Brüchen und folglich durch das Entstehen verschiedener Muster und deren Verhalten im Übergang zu chaotischen Zuständen geprägt. So können sich diesseits und jenseits bestimmter Zustandsgrenzen ganz unterschiedliche Strukturen ausbilden. Ein solcher Bruch ist mit dem Nebeneinander von laminarer und turbulenter Strömung gegeben. Auch das „Waldsterben" ist wohl als das Vergehen eines ökologischen Musters und als Übergang zu einer anderen Struktur zu verstehen, denn ökologische Systeme sind ebenfalls Systeme mit nicht-linearer Dynamik. W. Seifritz hat ausführlich dargestellt, daß derartige Begriffsbildungen auch für das Verständnis wirtschaftlicher und sogar politischer Systeme hilfreich sein können [SEIFRITZ 1987], und K. Ulmer, W. Häfele und W. Stegmaier haben ein solches Verständnis in einen größeren Zusammenhang gestellt [ULMER/HÄFELE/STEGMAIER 1987].

So besteht denn auch das Ziel der hier vorgetragenen Argumentation darin, solche größeren Zusammenhänge für die Problemstellungen des vorliegenden Buches aufzuzeigen. In Kapitel 4 ist der Zustand der Erdatmosphäre und die anthropogene Beeinflussung dieses Zustands durch CO_2 und andere Emissionen behandelt worden. Dieses Problem hat die hier vorgestellte Qualität nicht-linearer Systeme. Mangelnde Vorhersagbarkeit hinsichtlich des Zustands der Erdatmosphäre ist damit nicht nur

eine Frage technischen Unvermögens, sondern in dem hier vorgetragenen Sinn systemimmanent. Entsprechend verfremdet sich die einfache Anwendung des Risikobegriffs in der zunächst vorgestellten Definition als Produkt aus Eintretenswahrscheinlichkeit und Schadensfolge. Wollte man diesen Risikobegriff dennoch beibehalten, so hätte man für die Eintretenswahrscheinlichkeit Werte einzusetzen, die vielleicht bei 0,2, keinesfalls aber bei 10^{-4} oder 10^{-5} liegen. Und wäre die Schadensfolge monetär anzugeben, so käme ein Betrag von Dutzenden von Teradollar zustande, so daß sich numerisch ein Risiko errechnen würde, dessen Zahlenangabe offensichtlich als Zahlenangabe nicht mehr sinnvoll ist. Diese Art der Risikoerfassung greift also nicht. Die Feststellung, die anthropogene Beeinflussung der Erdatmosphäre werde wahrscheinlich massive Konsequenzen haben, ist somit nicht unbedingt quantitativ zu verstehen; sie besagt vielmehr, daß solche Konsequenzen nach allem menschlichen Urteil zu erwarten sind. Auch entwickeln sich solche Konsequenzen hinreichend langsam und keineswegs als zeitlich eingrenzbares Einzelereignis, auf das wir den Wahrscheinlichkeitsbegriff anzuwenden gewohnt sind. Des weiteren geht es nicht um Schäden im Rahmen eines bestimmten Musters, das eine sinnvolle Kommunikation über bestimmte Geldwerte überhaupt erst ermöglicht, sondern um den Zusammenbruch unterschiedlicher Muster natürlicher wie zivilisatorischer Art.

So erscheint es weitaus angemessener, bei solchen Problemstellungen von Undeutlichkeiten und Gefahren zu sprechen und damit auch an die Geschichte menschlicher Existenz mit ihren geistigen, personalen und auch religiösen Bezügen anzuknüpfen. Dies ist dann ein ganz anderer Hintergrund, als er, wie weiter oben ausgeführt, bisher in der Literatur anzutreffen war: Dort ist von Unsicherheiten die Rede, die vielleicht bei hinreichend großem Bemühen oder hinreichend langem Warten eben doch überwindbar sein könnten. Keineswegs soll damit gesagt sein, daß intensiver Bezug auf Naturwissenschaft und Technik nicht mehr angezeigt wäre. Doch wird die Prominenz naturwissenschaftlicher Kategorien relativiert in Anbetracht dieser Undeutlichkeiten, die letztlich eine Anfrage an das *Humanum* einschließlich der ihm eigenen Undeutlichkeit bedeuten. Die folgenden Abschnitte werden zeigen, welche politisch-gesellschaftliche Relevanz solchen Betrachtungen zukommt.

Akzeptanz und Akzeptabilität

Die oben erörterten Zusammenhänge zwischen Faktizität, Hypothetizität, Unsicherheit und Undeutlichkeit sind von zentraler Bedeutung sowohl für die Legitimation von Extrapolationen vergangener Ereignisse auf zukünftige Entwicklungen als auch für den Umgang mit statistischer Unsicherheit und Berechenbarkeit. Im Gegensatz zur *Akzeptabilität* als Folge wissenschaftlicher Forschung ist *Akzeptanz* im Rahmen solcher Überlegungen die faktisch gegebene Zustimmung oder Ablehnung von Risikoquellen durch Individuen oder soziale Gruppen. Akzeptanz gehört damit eindeutig in den Bereich der Faktizität und hat, dem Bereich der technischen Faktizität vergleichbar, auch normative Geltung. Insbesondere in demokratischen Verfassungen hat die generelle Akzeptanz von politischen Entscheidungsbündeln (Programmen) die Funktion systemstabilisierender Legitimation, zumal die Entscheidungsträger durch periodische Wahlen gezwungen werden, sich in regelmäßigen Abständen einem Akzeptanztest durch die Bürger zu stellen.

Allerdings wäre es zu einfach, Demokratie auf die normative Äquivalenz von Akzeptanz und Akzeptabilität so zu reduzieren. In demokratischen Systemen erwarten die Bürger von ihren politischen Entscheidungsträgern auch Sachverstand und vorausschauende Planung, und in jedem Fall sind Kompetenz und Wissen die Voraussetzung. Bewußt haben die meisten demokratischen Systeme auf rätedemokratische Modelle, in denen die Volksvertreter an die Weisungen ihrer Basis gebunden sind, verzichtet. Vielmehr ist die normative Demokratievorstellung von dem Grundsatz geprägt, daß die Bürger ihre Wert- und Zielvorstellungen durch den Wahlakt artikulieren und die Politik diese Ziele mittels Einbeziehung von Expertenwissen und institutionellem Verwaltungshandeln instrumentell umsetzt. Natürlich ist eine solche Ziel- und Mitteltrennung problematisch, und so ist auch die Vertrauenskrise, in der sich die politischen Institutionen heute befinden, zum Teil auf versteckte oder latente Wertgebundenheit von Instrumenten zurückzuführen [KAASE 1979]. Dennoch scheint eine Verbindung von praktischer Akzeptanz und hypothetischem Wissen über zukünftige Folgen als Grundlage rationaler Entscheidungsfindung die beste Strategie politischen Handelns zu sein. In diesem Zusammenhang war weiter oben von Setzungen im Grenzbereich von Faktizität und Hypothetizität die Rede.

Auf die Risikoproblematik bezogen bedeutet eine solche Strategie, daß Entscheidungen in Risikosituationen weder ausschließlich aufgrund vorgefundener Akzeptanz noch ausschließlich aufgrund wissenschaftlich begründeter Akzeptabilität zu treffen sind. Vielmehr geht es darum, für die aus vorhandenem Wissen abgeleiteten Strategien Akzeptanz zu erreichen, wobei im Einzelfall auch von optimalen Modellen im Sinne der Kosten-Nutzen-Analyse zugunsten akzeptabler und verteilungsgerechter Modelle abgewichen werden muß. Somit sind sowohl Akzeptanz als auch normatives Wissen konstitutive Merkmale von Akzeptabilität. Und es sind politische Prozesse notwendig, um Partizipation als Ausdruck sozialer Eignung einerseits und Sachkompetenz als Ausdruck des Systemwissens andererseits miteinander zu verflechten. Damit stellt sich nun die eher grundsätzliche Frage, was von der Wissenschaft beziehungsweise von der Beteiligung der Bürger für die politische Entscheidungsfindung zu erwarten ist.

Beitrag der Wissenschaft zur Risikoentscheidung

Die bisherigen Betrachtungen führen eindeutig zu der Schlußfolgerung, daß aufgrund von Unsicherheiten, veränderten Rahmenbedingungen, Entwicklungsbrüchen und unvorhersehbaren Überraschungen, nicht zuletzt auch aufgrund der Indeterminanz individueller Willenshandlungen, Potential und Treffsicherheit wissenschaftlicher Prognosen prinzipiell beschränkt sind. Dies bedeutet zugleich, daß natürliche wie technisch bedingte Katastrophen eintreten werden, und zwar auch an Stellen, wo sie am wenigsten zu erwarten sind. Die Ausblendung von Undeutlichkeiten aus der wissenschaftlichen Analyse mit dem Argument, sie seien wissenschaftlich-quantitativ nicht faßbar, führt leicht zu dem Trugschluß, man könne oder brauche sie bei der politischen Entscheidungsfindung nicht zu berücksichtigen. Nichts wäre im Sinne einer langfristigen Risikobewältigung problematischer: Zwar kann eine Gesellschaft nicht auf Dinge reagieren, von denen sie noch nichts weiß; wohl aber kann sie die Voraussetzungen dafür schaffen, daß ihr politisches System auf Überraschungen eingestellt ist (Resilienz). Auch kann sie schon auf Anzeichen von Bedrohungen reagieren, die zwar quantitativ noch nicht faßbar sind, qualitativ aber globale und systemübergreifende Auswirkungen haben könnten, die es zu überstehen gilt (Persistenz). Am Beispiel globaler Klimaveränderungen infolge CO_2-Freisetzung und anderer Emissionen ist dies bereits verdeutlicht worden.

Die Fähigkeit eines Sozialsystems, Resilienz und Persistenz zu entwickeln, ist eng verbunden mit der Bereitschaft zu sozialen und technischen Innovationen. Wenn nun Undeutlichkeiten im Sinne nicht berechenbarer Risiken in das politische Handeln einbezogen werden sollen, gibt es im wesentlichen nur zwei Strategien: Diversifizierung sowie Begrenzung technischer und sozialer Lebenszyklen. Im ersten Fall muß ein für die Gesellschaft lebensnotwendiges Versorgungssystem auf breitere Grundlage gestellt werden: Es müssen unabhängig voneinander nutzenäquivalente Systeme existieren, um bei plötzlichem Systemausfall oder klar erkannter Nichtverantwortbarkeit eines Systems die entstehende Lücke durch andere Systeme füllen zu können. Im zweiten Fall müssen Anreize zur Substitution und Erneuerung von technischen Systemen und sozialen Institutionen geschaffen werden, um die mit jeder Manifestation menschlichen Handelns verbundenen Konsequenzen nicht akkumulieren zu lassen.

Am Beispiel der Stoffströme sollen Diversifizierung und Begrenzung als Strategien politischen Handelns verdeutlicht werden: In der Regel sind technische Systeme mit Emissionen und Verbrauch an Ressourcen verbunden, wobei aufgrund erkannter oder erwartbarer Nichtlinearitäten der Belastungsgrad der jeweils betroffenen Ökosysteme aus der Höhe der Emission nicht linear ableitbar ist. So kann ein Ökosystem, beispielsweise ein Fluß, eine bestimmte Schadstoffmenge nahezu problemlos bewältigen, bricht aber zusammen, sobald ein kritischer Schwellenwert überschritten ist. Meist ist der exakte Wert für diese Schwelle unbekannt. Die jeweils einmalige biotopische Situation, Auswirkungen synergistischer Zusammenhänge zwischen verschiedenen Stoffen und mangelnde Erfahrung mit Phänomenen dieser Art führen dazu, daß eine Risikoanalyse im bisherigen Sinn nicht mehr greift. Umso mehr gilt es, Emissionen von Schadstoffen langfristig zu vermeiden, wobei das beste Mittel nicht der Filter ist, sondern die Ersetzung von Technologien durch neue, schadstoffärmere und schadstoffalternierende Verfahren. Gleiches läßt sich für den Verbrauch an Ressourcen anmerken: Wie verschiedene ökonomische Studien nachgewiesen haben, versagt der Preismechanismus als Indikator für Knappheit, wenn das entsprechende Gut so knapp wird, daß der Preis gegen unendlich ansteigen müßte [TRAINER 1986]. Es muß daher Aufgabe vorausschauender Politik sein, Situationen, in denen eine ökonomische Selbstregulierung der Knappheitsverwaltung nicht mehr funktioniert, gar nicht erst aufkommen zu lassen. Das beste Instrument zur Entwicklung einer solchen Persistenz ist die Förderung von Innovationen. Dabei hat sich in der Vergangenheit

gezeigt, daß solche Substitutionsvorgänge keineswegs durch politische Maßnahmen eingeleitet werden müssen, sondern durch den ökonomischen Regulationsprozeß des Markts zustande kommen. Hier sind es vor allem staatliche Ordnungspolitik, Infrastrukturförderung und Bildungspolitik, die eine wirtschaftliche Selbstregulierung technischer Innovationen adäquat aktivieren und unterstützen.

Allerdings bezieht sich die Bereitschaft zu Innovationen nicht nur auf die Technik, sondern auch auf die sozialen und politischen Institutionen, die zur Anwendung, Regelung und Kontrolle von Technologien dienen. Wie Ch. Perrow einmal ironisch geäußert hat, weisen gerade Leute, die lauthals für mehr Risikobereitschaft in Wirtschaft und Technik eintreten, soziale oder institutionelle Innovationen, die immer mit Risiken einhergehen, weit von sich [PERROW 1984]. Umgekehrt reagieren die Propagandisten eines forcierten sozialen Wandels mit all seinen Risiken allergisch auf alle technischen Risiken. Beide Haltungen sind unserer Analyse der Risikobewältigung in der modernen Gesellschaft zufolge inadäquat und oft sogar gefährlich. Die Anpassungsfähigkeit an veränderte Umweltbedingungen und die Wachsamkeit gegenüber sich abzeichnenden Bedrohungen erfordern Wandlungsprozesse sowohl in der Technik als auch in den sozialen Institutionen, wobei eine Verknüpfung häufig notwendigerweise gegeben ist. So werden die Möglichkeiten und Gefahren der Gentechnologie durch technische Innovationen ausgelöst, doch ihre Anwendung und Kontrolle obliegt gesellschaftlichen Institutionen, die aufgrund der besonderen Charakteristika dieser neuartigen Technologie durchaus neue institutionelle Formen ihrer Handhabung erarbeiten müssen. Insgesamt erfordert eine ausgewogene Entwicklung von Persistenz und Resilienz eine schrittweise Innovationsfolge in Technik und sozialem Umfeld.

Diese Überlegungen sind für die Frage nach der Akzeptabilität von Risiken von entscheidender Bedeutung: Wenn Innovationsfähigkeit und soziale Lernfähigkeit Bedingungen für eine langfristige Risikobewältigung sind, gilt es, begrenzbare Risiken in der Gegenwart einzugehen, um unbegrenzbare (und damit der Wissenschaft kaum zugängliche) Risiken für die Zukunft zu vermeiden. Technische Neuerungen sind prinzipiell von Risiken begleitet, Risikoabschätzungen sind mit Unsicherheiten behaftet, und potentielles Fehlverhalten ist noch weitgehend unerforscht. Selbst bei Ausschöpfung aller Möglichkeiten der Computer-Simulation, die nichts anderes als ein Verfahren von *Versuch und Irrtum* ohne reale Opfer darstellt, wird es nicht möglich sein, alle nega-

tiven Folgewirkungen von Innovationen zu übersehen oder gar auszuschalten. Der Verzicht auf solche Innovationen mag das Eintreten von Risikofolgen kurzfristig verhindern, führt langfristig jedoch zu Erstarrungsprozessen in Technik und Gesellschaft, die nach allem, was über evolutionäre Prozesse bekannt ist, für den Fortbestand der Gesellschaft letztlich tödliche Folgen haben könnten. In diesem Zusammenhang zeigt sich auch deutlich die begrenzte Aussagefähigkeit von Risikovergleichen: Je weniger die Schadensfolgen quantifizierbar sind und je weniger Fakten über die kumulative Wirkung von Schadstoffen vorliegen, desto eher werden Risikoberechnungen ein unzureichendes Bild vermitteln, indem sie uns einerseits irrtümlich beruhigen oder andererseits unnötig beunruhigen. Ähnliches trifft für den sozialen und politischen Bereich zu: Je unbeweglicher eine Gesellschaft an überkommenen institutionellen oder organisatorischen Strukturen festhält, in dem vermeintlichen Glauben, das damit verbundene Risiko zu kennen und zu beherrschen, desto eher sind unangenehme Überraschungen bis hin zu globalen Katastrophen zu erwarten.

Beteiligung der Bürger an der politischen Entscheidungsfindung

Dieser Grundsatz gilt auch für das zweite konstitutive Merkmal von Akzeptabilität – die Einbeziehung partizipativer Elemente in die Entscheidungsfindung in Risikosituationen. In unseren Ausführungen zu Undeutlichkeiten im Sinne systemimmanenter Züge ist bereits auf die Notwendigkeit der Gestaltung von Technik und Organisation nach dem *Humanum*, d.h. nach ethischen Gesichtspunkten, hingewiesen worden: Die Naturwissenschaft kann der Menschheit nicht sagen, wie sie in Zukunft leben will oder leben soll; sie kann aber sehr wohl Anhaltspunkte für die Probleme und Undeutlichkeiten geben, die in Zukunft relevant sein könnten. *Wie* diese Probleme anzugehen, die uns zur Verfügung stehenden Ressourcen zu verteilen und Gerechtigkeit und Fairneß zu schaffen sind, entzieht sich naturwissenschaftlichem Zugriff und kann letztlich nur durch die oben angesprochenen Setzungen aus politisch-institutionell-gesellschaftlichem Bereich geklärt werden. Dabei vertrauen viele politische Analytiker ganz einfach darauf, daß politische Ideen und Programme im Kampf gegenüber politischem System, Bürgerverhalten und sozialem Gruppendruck schon irgendwie überleben und daß sich durch das Zusammenspiel von politischer Elite, sozialem Lobbyismus und lokaler Akzeptanz eine Rationalität des politischen

Handelns auf höherer Ebene einstellt. Ob dieses chaotische System den Herausforderungen der Zukunft gerecht zu werden vermag, ist durchaus zu bezweifeln. Zumindest gilt es, ähnlich wie in den Wirtschaftswissenschaften und in der Theoretischen Ökologie diejenigen Rahmenbedingungen zu erforschen, unter denen ein Selbstregulationsmechanismus dynamische Stabilität erbringt.

Eines läßt sich jedoch jetzt schon absehen: Auch die Einbeziehung gesellschaftlicher Akzeptanz in Entscheidungen über Akzeptabilität verlangt neue Ansätze, bei denen Information und Wahlakt miteinander zu verbinden sind. In einer Sozialverträglichkeitsstudie ist mit sogenannten Planungszellen operiert worden [RENN *et al.* 1985]. Diese Zellen bestanden aus nach dem Zufallsverfahren ausgesuchten Bürgern, die über die anstehende Problematik informiert wurden, bevor sie ihr Werturteil zur Gestaltung der zukünftigen Energielandschaft abgaben [DIENEL/GARBE 1985]. Auch andere Partizipationsformen wie Enquête-Kommissionen, Bürgeranwälte oder Bürgerforen sind interessante politische Innovationen, die intensives Nachdenken und eine Erprobung im praktischen Alltag rechtfertigen. In diesem Zusammenhang ist seinerzeit vorgeschlagen worden, insbesondere von formalisierten Vorgehensweisen auszugehen [HÄFELE 1974].

So ist Akzeptabilität durch zwei konstitutive, aber häufig konfligierende Merkmale geprägt, die eine verbindliche Formel oder eine politische Faustregel zu ihrer Bestimmung nicht zulassen. Akzeptabilität verlangt vielmehr einen konsensualen Abstimmungsprozeß innerhalb der relevanten Wissensträger und zwischen den letztlich betroffenen Bevölkerungsgruppen. Auf beiden Seiten scheint sich nun die Erkenntnis durchzusetzen, daß eine langfristige Strategie der Risikobewältigung im technischen wie im politisch-gesellschaftlichen Bereich Innovationen und Diversität als Orientierungskriterien vorsehen muß, um faktisch und normativ akzeptabel zu werden.

Ausblick

Nachdem zunächst die Risikoproblematik mit ihren wissenschaftsgeschichtlichen Perspektiven aufgezeigt und in größerem Zusammenhang systematisiert worden ist, haben die darauf folgenden Überlegungen zur

Risikoanalyse großer technischer Systeme eine Relativierung des Risikobegriffs im engeren Sinn ergeben und so zu einer Aufblendung geführt, wie sie auch in Kapitel 13 angesprochen wird: Risiko ist nicht mehr ausschließlich quantitativ als Produkt aus Eintretenswahrscheinlichkeit und Schadensfolge zu definieren, sondern im Zusammenhang mit Faktizität, Hypothetizität, Unsicherheit und Undeutlichkeit zu begreifen. Die im letzten Abschnitt dargestellten politisch-gesellschaftlichen Implikationen des so relativierten Risikobegriffs lassen dann deutlich werden, daß die Akzeptabilität von Risikoentscheidungen letztlich von der politischen Vermittlung zwischen gesellschaftlicher Akzeptanz und wissenschaftlicher Argumentation unter Einbeziehung einer zunehmenden Innovationsbereitschaft abhängt. Abschließend ist nun zu fragen: Worauf könnte dies alles hinauslaufen?

Wenn sich die schon derzeit hohen Weltbevölkerungszahlen noch weiter erhöhen, werden umfassende und komplexe technische Systeme zivilisatorischer Infrastruktur wie die der Nahrungsbeschaffung und Energieversorgung zunehmend zu einer konstitutiven Voraussetzung für menschenwürdige Existenz. Immer mehr werden diese Systeme dann solche Funktionen zu übernehmen haben, die früher der gewachsenen Natur zukamen oder zumindest in sie eingebettet waren: Technisches Handeln wird darauf ausgerichtet sein, Natur gewissermaßen zu erweitern und somit auf neuartige Weise selbst natürlich zu werden.

Wird dann die Ausformung solcher umfassenden und komplexen technischen Systeme zivilisatorischer Infrastruktur in einer Begrifflichkeit vollzogen, die naturfremde Kategorien wie die der ausschließlich linearen Dynamik benutzt, kommt es zu wirklich großen Problemen. Bisher ging es um die rigorose Verfolgung eines enggefaßten statischen Risikobegriffs, der letztlich zu Konzepten wie Nullrisiko, zur Bewahrung von Vorhandenem und zu Unbeweglichkeit führt. Dem Denken in Kategorien der linearen Dynamik stehen aber auch Konzepte wie Optimalität und Stabilität sehr nahe; zumindest spielen sie in der heutigen Technik eine ganz erhebliche Rolle. Wenn die in Rede stehenden umfassenden und komplexen Systeme zivilisatorischer Infrastrukturen aber sehr groß werden und Funktionen der gewachsenen Natur übernehmen sollen, geht es nicht mehr um Optimalität, Stabilität und Nullrisiko. Vielmehr geht es dann um Anpassungsfähigkeit an Unvorhergesehenes (Resilienz), um ständige Innovation (Persistenz) und um fortlaufende Bewegung. Folglich muß sich eine moderne Technik auch an Unvorhergesehenes anpassen können, so daß die in der Technik bislang vorherrschen-

de Forderung nach Optimalität gegenstandslos wird. Ebensowenig darf technische Sicherheit als statische Stabilität verrechnet werden; vielmehr müssen ständig alternative Handlungsoptionen bereitstehen, um gänzlich neuartigen Umständen und Rückschlägen begegnen zu können, so wie dies in der Natur durch einen hinreichend großen Vorrat an Genen gegeben ist. Insgesamt ist damit festzuhalten, daß die umfassenden und komplexen Systeme zivilisatorischer Infrastruktur nicht mehr in erster Linie auf Optimalität und Stabilität, sondern auf Resilienz und Persistenz auszurichten sind.

Solchen Vorstellungen könnten beispielsweise die in Kapitel 8 beschriebenen *Neuartigen Horizontal Integrierten Energiesysteme (NHIES)* zumindest teilweise Rechnung tragen: Die horizontale Integration erhöht die wechselseitige Substituierbarkeit der Primärenergieversorgung mit fossilen Brennstoffen und kann sich so auf unvorhergesehene Situationen leicht einstellen (Resilienz). Das stöchiometrische Ausbalancieren der Stoffströme einschließlich des Wasserstoffgehalts der Kohle führt zu einer Reduktion der erforderlichen Stoffströme, und die Reinigung und Isolierung der Komponenten des Verbrennungsprozesses vor der Verbrennung ermöglicht eine Reduktion der gasförmigen Emissionen in der Atmosphäre. Technische Vorgänge dieser Art kommen geschlossenen Stoffströmen der gewachsenen Natur nahe. Weiterhin läßt sich ein solches System relativ leicht entwickeln, wenn von den drei Schienen der horizontalen Integration (O_2, H_2 und CO) die CO-Schiene Zug um Zug abgebaut wird, so daß letztlich eine Wasserstoff-Wirtschaft entsteht. Die Anlage eines Systems auf Evolution hin ist wiederum Eigenschaften der gewachsenen Natur vergleichbar (Persistenz). Um der Klarheit willen sei indes folgendes festgestellt: Bei den so beschriebenen Merkmalen des *NHIES*-Systems kann es sich nur um erste tastende, aber bewußte Versuche handeln, zu einer anpassungsfähigen, evolutionsorientierten Technik zu gelangen. *Wie* eine solche Technik, sollte sie denn zustande kommen, wirklich aussehen könnte, muß hier offen bleiben.

Neben den technischen Systemen sind aber gleichermaßen wirtschaftliche, politische und gesellschaftliche Systeme betroffen. So dürfte die Entwicklung einer auf Resilienz und Persistenz angelegten Technik kaum möglich sein, wenn gleichzeitig im wirtschaftlichen Bereich Optimalität und im gesellschaftlichen Bereich Stabilität (beispielsweise durch Besitzstandswahrung) angestrebt werden. Vielmehr müssen auch in diesen Bereichen Anpassungsfähigkeit, Handlungsoptionen, Vielfalt,

Innovationsfähigkeit und Mobilität bestimmend sein. Auch dies läßt sich am Beispiel der *Horizontal Integrierten Energiesysteme* verdeutlichen. Makroökonomisch gesehen sind diese Systeme unter den in Kapitel 8 dargestellten Bedingungen bereits heute ganz oder teilweise einführbar, und dies auch unter Bedingungen volkswirtschaftlicher Optimalität, wie sie in Kapitel 12 behandelt werden. Institutionell dagegen dürfte ihre Einführung auf erhebliche Schwierigkeiten stoßen, zumal die Energiewirtschaft derzeit überwiegend vertikal gegliedert ist. Vor allem rein betriebswirtschaftliche Aspekte werden eine rechtzeitige Einführung dieser horizontal integrierten Energiesysteme erschweren.

Überlegungen wie diese sind nicht als definitive Feststellungen zu verstehen. Vielmehr geht es darum, Perspektiven im Umgang mit unserer Zukunft zu erhellen. So bleibt vieles offen, und dies zu zeigen war die Absicht: Die neuen *Muster künftiger Lebensvollzüge* werden erst mit der Zeit d e u t l i c h e r erkennbar werden.

Anmerkungen

1. Genau genommen handelt es sich nicht um *Wahrscheinlichkeiten*, sondern um *Häufigkeiten pro Zeiteinheit* – um eine Zahl, die dimensionsbehaftet ist und grundsätzlich auch größer als 1 sein kann. In der englischsprachigen Literatur ist deshalb auch von *rate* (Rate) die Rede.

2. Ein solcher Ansatz weist jedoch folgende Schwierigkeiten auf: die Unmöglichkeit der Erfassung irreversibler und nicht-kompensierbarer Folgen (z.B. Todesfälle), eine gewisse Beliebigkeit bei der Umrechnung nicht-monetärer Dimensionen in monetäre Größen, die Diskontierung von Kosten für zukünftige Ereignisse und die Einbeziehung von Unsicherheiten bei der Erfassung absehbarer Konsequenzen.

3. Der für individuelle Entscheidungsträger oder homogene, zielgerichtete Gruppen durchaus rationale Ansatz einer mehrdimensionalen Entscheidungsanalyse erweist sich als wenig hilfreich im heterogenen politischen Entscheidungsprozeß mit unterschiedlich strukturierten Entscheidungsgremien, konfligierenden Wertvorstellungen und unterschiedlich verteilten Nutzen-Risiko-Effekten.

4. Wenn die Zahl denkbarer Szenarien hoch ist, wie dies für komplexe Technologien die Regel sein dürfte, ist das Risiko-Profil von Technologien, bevorzugt durch stetige Funktionen, zu approximieren.

5. Im Unterschied zu den *Farmer*-Kurven werden die Schadenshöhen nicht mehr nach rechts, sondern nach links abgetragen. Ein besonderes Problem besteht darin, Schäden und Nutzen auf einer gemeinsamen Skala zu messen. Wie beispielsweise soll der Nutzen der zivilen Luftfahrt gemessen werden, wenn man den Schaden in Form von Unfalltoten mißt?

6. Die Varianz ist ein Indikator für die Schärfe der Dichtefunktionen in Abbildung 1 bzw. Abbildung 2: Je flacher sie sind, desto höher ist der Wert für die Varianz δ^2. Formal ist die Varianz definiert als

$$\delta^2 = \Sigma\,(S_i - \mu)^2\, p(S_i).$$

7. Die sich daraus ergebende Größe E_k wird auch als Sicherheitsäquivalent bezeichnet [vgl. LIND 1982:64f.].

8. Viele soziale Gruppen fanden ihre Interessen im politischen System nicht mehr repräsentiert und haben zu alternativen politischen Aktionsformen Zuflucht genommen. So hat die fehlende Kanalisierbarkeit ökologischer Belange in traditionelle politische Partizipation wie Wahlen, Parteieintritt usw. in der Bundesrepublik Deutschland zur Bildung von Bürgerinitiativen und zur Neugründung der *Grünen* beigetragen [RENN 1986; KLAGES 1982].

9. Mittlerweile erfährt das technische Risikokonzept eine Renaissance auch in technischen Bereichen außerhalb der Kerntechnik, z.B. bei der Abschätzung gesundheitlicher Risiken im Zusammenhang mit Umwelttoxen.

10. Die Zahl der Flugzeuge und Flüge nimmt schneller zu als die Zahl der Unglücke; die Sicherheit in der Verkehrsluftfahrt wird ständig erhöht und überholt gewissermaßen die Unfälle. Entsprechend gut ist die Akzeptanz des Flugverkehrs, auch wenn die Akzeptabilität prinzipiell diskutabel bleibt.

11. Wenn in der Physik bisher fast ausschließlich lineare Dynamik, wie sie vor allem die Elektrodynamik charakterisiert, betrieben worden ist, so ist dies in erster Linie auf die historische Entwicklung der Physik zurückzuführen, bei der die mathematische Behandelbarkeit immer eine große Rolle gespielt hat.

Literaturhinweise

1. ARROW, K.J. (1964) „The Role of Securities in the Optimal Allocation of Risk Bearing", *Review of Economic Studies* 31 (1964), 91-96

2. ARROW, K.J. (1974) *Essays in the Theory of Risk Bearing* (Amsterdam: North Holland)

3. ARROW, K.J./LIND, R.C. (1970) „Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions", *American Economic Review* 60 (1970), 364-378

4. BECK, U. (1986) *Die Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne* (Frankfurt, M.: Suhrkamp)

5. DEBREU, G. (1959) *Theory of Value* (New York: Wiley)

6. DIENEL, P.C. (1978) *Die Planungszelle. Eine Alternative zur Establishment-Demokratie* (Opladen: Westdeutscher Verlag)

7. DIENEL, P.C./GARBE, D. (Hg.) (1985) *Zukünftige Energiepolitik. Ein Bürgergutachten* (München: High Tech)

8. DOE. Department of Energy (1987) *Health and Environmental Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident.* ER – 0332 (Springfield, VA: US Department of Energy)

9. DOUGLAS, M./WILDAVSKY, A. (1982) *Risk and Culture. An Essay on the Selection of Technical and Environmental Dangers* (Berkeley etc.: University of California Press)

10. ERDMANN, G. (1987) *Acceptance of Risk due to Unavoidable Accidents.* Arbeitspapiere 87/76 (Zürich: Institut für Wirtschaftsforschung)

11. ERDMANN, G. (1988) *Die Diskontrate bei der Planung mittel- bis langfristiger Projekte im Energiebereich* (Jülich, Zürich: KFA-Bericht, Jül-Spez-426)

12. FARMER, F.R. (1967) „Reactor Safety and Siting: A Proposed Risk Criterion", *Nuclear Safety* 8 (1967) 6, 539-548

13. FISCHER, D. (1973) „Kosten-Nutzen-Analyse – Hilfe für rationale Entscheidungen", *Zeitschrift für die Gesamte Staatswissenschaft* 129 (1973), 230-245

14. FISCHHOFF, B. *et al.* (1978) „How Safe is Safe Enough?", *Policy Sciences* 10 (1978) 9, 127-152

15. FISCHHOFF, B. *et al.* (1981) *Acceptable Risk* (Cambridge, Mass.: Cambridge University Press)

16. FRITZSCHE, A.F. (1986) *Wie sicher leben wir? Risikobeurteilung und -bewältigung in unserer Gesellschaft* (Köln: Verlag TÜV Rheinland)

17. GÄFGEN, G. (1968) *Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung* (Tübingen: Mohr)

18. GRS (Gesellschaft für Reaktorsicherheit) (1979) *Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke. Eine Untersuchung zu dem durch Störfälle in Kernkraftwerken verursachten Risiko* (Köln: Verlag TÜV Rheinland)

19. GRS (Gesellschaft für Reaktorsicherheit) (1989) *Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke. Phase B* (Köln: Verlag TÜV Rheinland)

20. HÄFELE, W. (1974) „Hypotheticality and the New Challenges: The Pathfinder Role of Nuclear Energy", *Minerva* 12 (1974) 3, 303-322

21. HÄFELE, W. (1981) *Energy in a Finite World. A Global Systems Analysis.* Report by the Energy Systems Program Group of the International Institute for Applied Systems Analysis. Vol. I: *Paths to a Sustainable Future.* Vol. II: *A Global Systems Analysis* (Cambridge, Mass.: Ballinger)

22. HÄFELE, W. (1987) „Tschernobyl. Zukünfte und Orientierung", BERLINGER, R. *et al.* (Hgg.) (1987) *Perspektiven der Philosophie.* Neues Jahrbuch Bd. 13 (Königshausen: Rodopi), 419-440

23. HAUPTMANNS, V./HERTTRICH, M./WERNER, W. (1987) *Technische Risiken. Ermittlung und Beurteilung* (Berlin etc.: Springer)

24. HOHENEMSER, C./RENN, O. (1988) „Shifting Public Perceptions of Nuclear Risks: Chernobyl's Other Legacy", *Environment* 30 (1988) 3, 5-11, 40-45

25. HOLLING, C.S. (1986) „The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change", CLAR, W.C./MUNN, R.E. (eds.) (1986) *Sustainable Development of the Biosphere* (Cambridge: Cambridge University Press), 292-317

26. HUPPMANN, H. (1982) „Beurteilung technischer Großrisiken im Versicherungswesen", MÜNCH, E./RENN, O./ROSER, T. (Hgg.) (1982) *Technik auf dem Prüfstand* (Essen: Girardet), 16-21

27. JUNGERMANN, H. (1982) „Zur Wahrnehmung und Akzeptierung des Risikos von Großtechnologien", *Psychologische Rundschau* 23 (1982) 3, 217-238

28. KAASE, M. (1979) „Legimitationskrise in den westlichen demokratischen Industriegesellschaften: Mythos oder Realität", KLAGES, H./KMIECIAK, P. (Hgg.) (1979) *Wertwandel und gesellschaftlicher Wandel* (Frankfurt, M.: Campus), 328-350

29. KASPERSON, R.E./DEW, P./KATES, W. (1983) „Confronting equity radioactive waste management: Modest proposals for a socially just and acceptable program", KASPERSON, R.E. (ed.) (1983) *Equity Issues in Radioactive Waste Management* (Cambridge, Mass.: Oelschlager, Gunn & Hain), 331-368

30. KATES, R.W./HOHENEMSER, C./KASPERSON, J.X. (1985) „Introduction: Coping with Technological Hazards", KATES, R.W./HOHENEMSER, C./

KASPERSON, J.X. (eds.) (1985) *Perilous Progress. Managing the Hazards of Technology* (Boulder: Westview Press), 1-20

31. KEENEY, R. (1982) „Decision Analysis: An Overview", *Operations Research* 30 (1982), 803-838

32. KEENEY, R.L. *et al.*(1984) *Die Wertbaumanalyse. Entscheidungshilfe für die Politik* (München: High Tech)

33. KITSCHELT, H. (1980) *Kernenergiepolitik. Arena eines gesellschaftlichen Konflikts* (Frankfurt, M. etc.: Campus)

34. KLAGES, H. ([2]1985, 1984) *Wertorientierung im Wandel* (Frankfurt, M. etc.: Campus)

35. KNEESE, A.V. *et al.* (1983) „Economic Issues in the Legacy Problem", KASPERSON, R.E. (ed.) (1983) *Equity Issues in Radioactive Waste Management* (Cambridge, Mass.: Oelschlager, Gunn & Hain), 203-226

36. KRELLE, W. (1968) *Präferenz- und Entscheidungstheorie* (Tübingen: Mohr)

37. KÜLP, B. (1975) *Wohlfahrtsökonomik I. Die Wohlfahrtskriterien* (Tübingen/Düsseldorf: Mohr (Paul Siebeck)/Werner)

38. LAKOFF, S.A. (1972) „Scientists, Technologists and Political Power", SPIEGEL-RÖSING, I./de SOLLA PRICE, D. (eds.) (1972) *Science, Technology and Society* (London etc.: Sage), 355-391

39. LIND, R.C. (1982) „A Primer on the Major Issues Relating to the Discount Rate for Evaluating National Energy Options", LIND, R.C. *et al.* (eds.) (1982) *Discounting for Time and Risk in Energy Policy* (Washington: Resources for the Future), 21-94

40. LINNEROOTH, J. (1983) „Die Risikoanalyse im politischen Prozeß", KUNREUTHER, H./LINNEROOTH, J. (Hg.) (1983) *Risikoanalyse und politische Entscheidungsprozesse* (Berlin etc.: Springer), 134-242

41. LUHMANN, N. ([3]1972, 1970) *Soziologische Aufklärung. Ansätze zur Theorie sozialer Systeme.* Bd. 1 (Opladen: Westdeutscher Verlag)

42. LUHMANN, N. (1986) *Ökologische Kommunikation. Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen?* (Opladen: Westdeutscher Verlag)

43. LYNN, F.M. (1986) „The Interplay of Science and Values in Assessing and Regulating Environmental Risks", *Science, Technology and Human Values* 55 (1986) 11, 40-50

44. MACLEAN, D. (1986) „Social Values and the Distribution of Risk", MACLEAN, D. (ed.) (1986) *Values at Risk* (Totowa, N.J.: Rowman & Allanheld), 75-93

45. MAZUR, A. (1984) „The Journalists and Technology: Reporting about Love Canal and Three Mile Island", *Minerva* 22 (1984) 1, 75-90

46. MEYER-ABICH, K.M. (1979) „Soziale Verträglichkeit – ein Kriterium zur Beurteilung alternativer Energieversorgungssysteme", *Evangelische Theologie* (Themenheft „Energiekrise und alternatives Denken") 39 (1979), 38-51

47. MYERS, S.C./TURNBULL, S.M. (1977) „Capital Budgeting and the Capital Asset Pricing Model: Good News and Bad News", *Journal of Finance* (1977), 321-333

48. NELKIN, D. (1975) „The Political Impact of Technical Expertise", *Social Studies of Science* 5 (1975) 1, 35-54

49. NELKIN, D./POLLAK, M. (1980) „Consensus and Conflict Resolution: The Politics of Assessing Risks", SCHWING, R.C./ALBERS, W.A. (eds.) (1980) *Societal Risk Assessment: How Safe is Safe Enough?* (New York etc.: Plenum), 65-75

50. von NEUMANN, J./MORGENSTERN, O. (1947) *Theory of Games and Economic Behavior* (Princeton, N.J.: Princeton University Press)

51. NOWOTNY, H. (1979) *Kernenergie: Gefahr oder Notwendigkeit?* (Frankfurt, M.: Suhrkamp)

52. PERROW, Ch. (1984) *Normal Accidents. Living with High-Risk Technologies* (New York: Basic Books)

53. PETERS, H.P. (1984) *Entstehung, Verarbeitung und Verbreitung von Wissenschaftsnachrichten am Beispiel von 20 Forschungseinrichtungen* (Jülich: KFA-Bericht, Jül-1940)

54. PRIGOGINE, I. (1979) *Sein und Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften* (München etc.: Piper)

55. RAYNER, S./CANTOR, R. (1987) „How Fair is Safe Enough? The Cultural Approach to Societal Technology Choice", *Risk Analysis* 7 (1987) 1, 3-10

56. RENN, O. (1982) „Technikfolgen und Sozialverträglichkeit. Ein Vorschlag zur Quantifizierung von mehrdimensionalen Risiken", *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 3 (1982), 174-186

57. RENN, O. (1984) *Risikowahrnehmung der Kernenergie* (Frankfurt, M. etc.: Campus)

58. RENN, O. (1985) „Risk Analysis: Scope and Limitations", OTWAY, H./PELTU, M. (eds.) (1985) *Regulating Industrial Risk* (London: Butterworth), 111-127

59. RENN, O. (1986) „ Die alternative Bewegung. Eine historisch-soziologische Analyse", *Zeitschrift für Politik* 32 (1986) 2, 153-194

60. RENN, O. *et al.* (1985) *Sozialverträgliche Energiepolitik. Ein Gutachten für die Bundesregierung* (München: High Tech)

61. RONGE, V. (1983) „Theoretische Konzepte politischer Entscheidungsprozesse", CONRAD, H. (Hg.) (1983) *Gesellschaft, Technik und Risikopolitik* (Berlin etc.: Springer), 188-213

62. SCHNEEWEISS, H. (1967) *Entscheidungskriterien bei Risiko* (Berlin etc.: Springer)

63. SCHOEMAKER, P.J.H. (1982) „The Expected Utility Model: Its Variants, Purposes, Evidence and Limitations", *Journal of Economic Literature* 20 (1982), 529-563

64. SEIFRITZ, W. (1987) *Wachstum, Rückkopplung und Chaos* (München: Carl Hanser)

65. SHARPE, W.F. (1964) „Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk", *Journal of Finance* 19 (1964), 425-442

66. SLOVIC, P./FISCHHOFF, B./LICHTENSTEIN, S. (1981) „Perceived risk: Psychological factors and social implications", The Royal Society (ed.) (1981) *The assessment and perception of risk.* 1st Discussion, London, November 12-13, 1980 (London: The Royal Society), 17-34

67. SPAEMANN, R. (1980) „Technische Eingriffe in die Natur als Probleme der politischen Ethik", BIRNBACHER, D. (Hg.) (1980) *Ökologie und Ethik* (Stuttgart: Reclam), 180-206

68. STARR, Ch. (1969) „Social Benefit Versus Technological Risk", *Science* 165 (1969) 19, 1232-1238

69. STARR, Ch. (1972) „How safe is safe enough – and why?", *Transactions of the American Nuclear Society* 15 (1972) 2, 823

70. STARR, Ch./RUDMANN, R./WHIPPLE, C. (1976) „Philosophical Basis for Risk Analysis", *Annual Review of Energy* 1 (1976), 629-662

71. TRAINER, F.E. (1986) „A Critical Examination of the Ultimate Resource and the Resourceful Earth", *Technological Forecasting and Social Change* 28 (1986) 30, 19-37

72. ULMER, K./HÄFELE, W./STEGMAIER, W. (1987) *Bedingungen der Zukunft. Ein naturwissenschaftlich- politischer Dialog.* Problemata 111 (Stuttgart/Bad Cannstatt: Frommann/Holzboog)

73. WASH 1400 (1975) *Reactor Safety Study – An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants.* NUREG-75/0/4 (Washington, D.C.: Nuclear Regulatory Commission)

74. WEINGART, P. (1981) „Wissenschaft im Konflikt zur Gesellschaft – zur De-Institutionalisierung der Wissenschaft", KRUEDENER, J. von/SCHUBERT, K. von/BECHMANN, G. (Hgg.) (1981) *Technikfolgen und sozialer Wandel* (Köln: Wissenschaft und Politik), 205-224

75. ZIMMERLI, W.C. (1982) „Zeitgeist und Energie. Die geistigen Strömungen unserer Zeit und ihre Bedeutung für die Energiediskussion", Manuskript eines Vortrags, gehalten auf der Tagung des Deutschen Atomforums „Energie – eine Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft", 8./9. Februar 1982, Köln