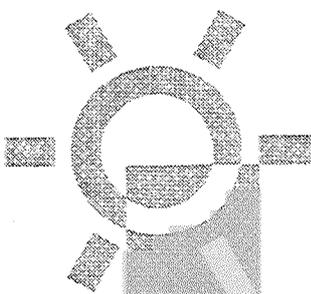


Materialien zu PACER

# Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie

Klaus P. Masuhr  
Thomas Oczipka



PACER

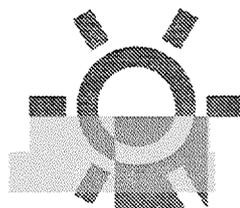
Bundesamt für Konjunkturfragen

# Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie

Teilbericht 2 des Projektes

«Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge  
für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Klaus P. Masuhr  
Thomas Oczipka



PACER

Bundesamt für Konjunkturfragen

## Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich:

### Neue Argumente für Investitionsentscheide

Die Strom- und Wärmeversorgung verursacht Kosten, die in den Energiepreisen nicht enthalten sind und für die die jeweiligen KonsumentInnen nichts bezahlen: Das sind sogenannte **externe Kosten**, wie zum Beispiel die Kosten der Luftverschmutzung, die nicht versicherten Risiken von Grossunfällen, die Beeinträchtigung von Naturräumen, etc. Solange diese Kosten extern bleiben und nicht in die Wirtschaftlichkeitskalküle der InvestorInnen und KonsumentInnen einbezogen werden, solange werden diese Umweltressourcen verschwendet, was zu übermässiger Umweltbelastung führt.

Erstmals wurden für die Schweiz die häufig diskutierten externen Kosten für den Strom- und Wärmebereich auf solider wissenschaftlicher Basis ermittelt. Die Arbeit ist für die Schweiz eine Pionierleistung, welche die energie- und umweltpolitische Diskussion bereichert. Die Studie identifiziert die wichtigsten externen Effekte der Strom- und Wärmeversorgung, quantifiziert ihr Ausmass und monetarisiert soweit möglich die resultierenden Kosten: Externe Kosten der Luftverschmutzung (Waldschäden, landwirtschaftliche Produktionsausfälle, Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden), externe Kosten der ölbedingten Meeres- und Bodenverschmutzung, Kosten des Treibhauseffektes, externe Kosten der Elektrizitätsproduktion und -verteilung (Beeinträchtigung von Gewässern und der Landschaft, Grossrisiken bei KKW und Staudämmen). Pro Energieträger und pro Ener-

giesystem (z.B. Gasheizungen, Ölheizungen, Gas-WKK-Anlagen, etc.) werden daraus **kalkulatorische Energiepreiszuschläge** (Rp./kWh) berechnet, welche den in der Studie monetarisierten externen Kosten entsprechen.

Die Risiken eines KKW-Grossunfalles oder eines Staudammbruches werden separat behandelt. Die spezielle Risikosituation bei solchen Grossereignissen – sehr kleine Eintretenswahrscheinlichkeit aber extrem grosse Auswirkungen – wirft heikle methodische Probleme auf. Die externen Kosten der Grossrisiken werden in der Form von **Risikozuschlägen** ausgewiesen.

Die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge und die Risikozuschläge können für eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung verwendet werden, welche externe Kosten integriert. Sie bilden eine gute Grundlage für die Evaluation von energie- und umweltpolitischen Massnahmen (Kosten/Nutzen-Überlegungen bei Sparmassnahmen, etc.).

Die Arbeit richtet sich an öffentliche und private InvestorInnen sowie an Interessierte aus Planungs-, Architektur-, Ingenieur- und Beratungsbüros, die bei ihren Projekten umfassende Wirtschaftlichkeitsüberlegungen anstellen, aber auch an Vollzugsfachleute in den Bereichen Energie und Umwelt, an Energie- und UmweltpolitikerInnen sowie generell an den Kreis von energie- und umweltpolitisch Interessierten.

(Synthese-Bericht, Bestell-Nr. 724.270 d)

---

# Bisher erschienene Materialien zu PACER

---

Mit «Materialien zu PACER» startete 1993 das Impulsprogramm PACER eine Dokumentationsreihe zu aktuellen Fragen der Anwendung erneuerbarer Energien inkl. ökologische und ökonomische Aspekte. «Materialien zu PACER» trägt dem Wunsch vieler Beteiligten Rechnung, im Rahmen von PACER erarbeitetes Wissen, das nicht direkt in Kursen umgesetzt werden soll, einem breiten Kreis von Interessierten raschmöglichst zugänglich zu machen.

Die Programmleitung PACER hofft, die Dokumentationsreihe, welche keineswegs auf das Gebäude beschränkt ist, baldmöglichst durch weitere Themen zu ergänzen.

Die ersten vier Hefte sind dem Thema «Möglichkeiten passivsolarer Massnahmen bei Sanierungen und Umbauten» gewidmet.

Erstmals wurden dann für die Schweiz die häufig diskutierten externen Kosten von Strom und Wärme im Gebäude geschätzt. (Synthesebericht 1994, Bestell-Nr. 724.270 d)

1993, 724.210.1d

## **Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten**

Synthesebericht

Autor: Markus Kunz

1993, 724.210.2d

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

## **Balkonverglasungen**

Autoren: Christian Süssstrunk, Eric Labhard

1993, 724.210.3d

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

## **Luftkollektorfassaden**

Autoren: Hansruedi Meier, Peter Steiger

1993, 724.210.4d

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

## **Transparente Wärmedämmung**

Autoren: Sandro Bernasconi, Heini Glauser, Andreas Haller, Andreas Herbster, Beat Züsli

1994, 724.270.1 d

## **Externe Kosten von Luftverschmutzung und staatlichen Leistungen im Wärmebereich**

Teilbericht 1 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Jürg Heldstab, Barbara Jäggin, Anita Sigg, Saskia Willemse, Heidi Ramseier, Margrit Schaal

1994, 724.270.2 d

## **Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie**

Teilbericht 2 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Autoren: Klaus P. Masuhr, Thomas Oczipka

1994, 724.270.3 d

## **Externe Kosten der fossilen Ressourcennutzung im Wärmebereich**

Teilbericht 3 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Barbara Jäggin, Heidi Ramseier

1994, 724.270.4 d

## **Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft**

Teilbericht 4 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

AutorInnen: Klaus P. Masuhr, Inge Weidig, Wolfgang Tautschnig

1994, 724.270.5 d

## **Die externen Kosten der Übertragung und Verteilung von Elektrizität**

Teilbericht 5 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Autor: Dr. Reinhard Schüssler

1994, 724.270.6 d

## **Externe Kosten von Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen**

Teilbericht 6 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Autoren: Walter Ott, Peter Koch

Bezugsadresse:  
EDMZ, 3000 Bern

## Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich:

### Neue Argumente für Investitionsentscheide

Die Strom- und Wärmeversorgung verursacht Kosten, die in den Energiepreisen nicht enthalten sind und für die die jeweiligen KonsumentInnen nichts bezahlen: Das sind sogenannte **externe Kosten**, wie zum Beispiel die Kosten der Luftverschmutzung, die nicht versicherten Risiken von Grossunfällen, die Beeinträchtigung von Naturräumen, etc. Solange diese Kosten extern bleiben und nicht in die Wirtschaftlichkeitskalküle der InvestorInnen und KonsumentInnen einbezogen werden, solange werden diese Umweltressourcen verschwendet, was zu übermässiger Umweltbelastung führt.

Erstmals wurden für die Schweiz die häufig diskutierten externen Kosten für den Strom- und Wärmebereich auf solider wissenschaftlicher Basis ermittelt. Die Arbeit ist für die Schweiz eine Pionierleistung, welche die energie- und umweltpolitische Diskussion bereichert. Die Studie identifiziert die wichtigsten externen Effekte der Strom- und Wärmeversorgung, quantifiziert ihr Ausmass und monetarisiert soweit möglich die resultierenden Kosten: Externe Kosten der Luftverschmutzung (Waldschäden, landwirtschaftliche Produktionsausfälle, Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden), externe Kosten der ölbedingten Meeres- und Bodenverschmutzung, Kosten des Treibhauseffektes, externe Kosten der Elektrizitätsproduktion und -verteilung (Beeinträchtigung von Gewässern und der Landschaft, Grossrisiken bei KKW und Staudämmen). Pro Energieträger und pro Ener-

giesystem (z.B. Gasheizungen, Ölheizungen, Gas-WKK-Anlagen, etc.) werden daraus **kalkulatorische Energiepreiszuschläge** (Rp./kWh) berechnet, welche den in der Studie monetarisierten externen Kosten entsprechen.

Die Risiken eines KKW-Grossunfalles oder eines Staudammbruches werden separat behandelt. Die spezielle Risikosituation bei solchen Grossereignissen – sehr kleine Eintretenswahrscheinlichkeit aber extrem grosse Auswirkungen – wirft heikle methodische Probleme auf. Die externen Kosten der Grossrisiken werden in der Form von **Risikozuschlägen** ausgewiesen.

Die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge und die Risikozuschläge können für eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung verwendet werden, welche externe Kosten integriert. Sie bilden eine gute Grundlage für die Evaluation von energie- und umweltpolitischen Massnahmen (Kosten/Nutzen-Überlegungen bei Sparmassnahmen, etc.).

Die Arbeit richtet sich an öffentliche und private InvestorInnen sowie an Interessierte aus Planungs-, Architektur-, Ingenieur- und Beratungsbüros, die bei ihren Projekten umfassende Wirtschaftlichkeitsüberlegungen anstellen, aber auch an Vollzugsfachleute in den Bereichen Energie und Umwelt, an Energie- und UmweltpolitikerInnen sowie generell an den Kreis von energie- und umweltpolitisch Interessierten.

(Synthese-Bericht, Bestell-Nr. 724.270 d)

## Impressum

Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfragen  
Belpstrasse 53  
3003 Bern

Programmleiter: PACER Dr. Jean-Bernard Gay  
c/o EPFL-LESO  
1015 Lausanne

Ressortleiterin: Oekonomische Aspekte  
Irene Wuillemin  
Bundesamt für Konjunkturfragen,  
Bern

AutorInnen: Klaus P. Masuhr  
Thomas Oczipka

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Händen des Bundesamtes für Konjunkturfragen im Rahmen von PACER sowie im vorliegenden Fall zu Händen des Bundesamtes für Energiewirtschaft und des Amtes für Bundesbauten, von Dritten erarbeitet wurden. Die Bundesämter und die vom BFK eingesetzte PACER-Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den AutorInnen.

Copyright: Bundesamt für Konjunkturfragen  
3003 Bern

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.

Form.724.270.2 d 4.94 500

Bestellnummern:  
**Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz.**

Teilbericht 1:  
**Externe Kosten von Luftverschmutzung und staatlichen Leistungen im Wärmebereich**  
1994, 724.270.1d

Teilbericht 2:  
**Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie**  
1994, 724.270.2d

Teilbericht 3:  
**Externe Kosten der fossilen Ressourcennutzung im Wärmebereich**  
1994, 724.270.3d

Teilbericht 4:  
**Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft**  
1994, 724.270.4d

Teilbericht 5:  
**Die externen Kosten der Übertragung und Verteilung von Elektrizität**  
1994, 724.270.5d

Teilbericht 6:  
**Externe Kosten von Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen**  
1994, 724.270.6d

# INHALT

	Seite
1. Identifizierung externer Effekte der Kernenergienutzung	1
1.1 Vorbemerkung	1
1.2 Die Prozesskette Kernenergienutzung und Identifizierung externer Effekte im Normalbetrieb	2
1.2.1 Die Prozesskette	2
1.2.2 Uranerzförderung und -konzentratherstellung	4
1.2.3 Aufbereitung der Kernbrennstoffe	6
1.2.4 Kraftwerksbetrieb	7
1.2.5 Wiederaufbereitung der Brennstoffe, Endlagerung, Kraftwerksdemontage	11
1.2.6 Zusammenfassung und Relevanzprüfung	13
1.3 Quantifizierung und Monetarisierung der externen Effekte im Normalbetrieb	17
2. Die externen Effekte von Kernschmelzunfällen	27
2.1 Identifizierung	27
2.2 Bewertung vorliegender Studien	31
2.3 Quantifizierung und Monetarisierung für die Schweiz	41
2.3.1 Mögliche Quellterme und Kollektivdosen	41
2.3.2 Quantifizierung und Monetarisierung der externen Kosten	50
2.4 Der Umgang mit dem Risiko	68

# 1. IDENTIFIZIERUNG EXTERNER EFFEKTE DER KERNENERGIE-NUTZUNG

## 1.1 Vorbemerkung

(1) Die Identifizierung der externen Effekte der Kernenergienutzung ist eine analytische Vorstufe zur technisch/physikalischen Quantifizierung und Monetarisierung dieser Effekte. Sie ist eher qualitativ orientiert (deswegen wird hier auch nicht von "Kosten", sondern von "Effekten" gesprochen). Die eigentliche Überführung in Kostenkategorien erfolgt erst in einer 2. Stufe in Kapitel 2 der Untersuchung.

Die Identifizierung muss die gesamte Prozesskette dieses Energiepfades von der Uranerzförderung bis zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen erfassen. Innerhalb dieser Prozesskette tritt in zwei Stufen ein "qualitativer Sprung" auf, weil hier das Element des Risikos eines Grossunfalls relevant wird. Dies betrifft die beiden Stufen Reaktorbetrieb und Wiederaufarbeitung der Brennstoffe. Um diesem qualitativen Sprung gerecht werden zu können, wird in der vorliegenden Untersuchung grundsätzlich eine zweigeteilte Darstellung verfolgt, die sich

- im ersten Teil mit den externen Kosten im **Normalbetrieb** der einzelnen Prozessstufen,
- im zweiten Teil mit den Schwierigkeiten und Quantifizierungsversuchen für einen **grossen Kernschmelzunfälle**

befasst.

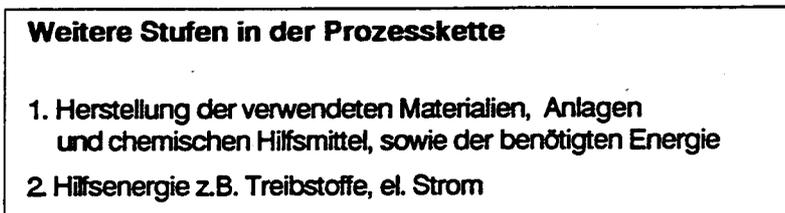
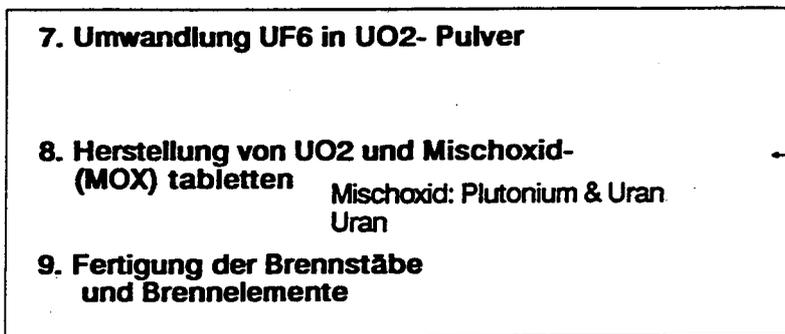
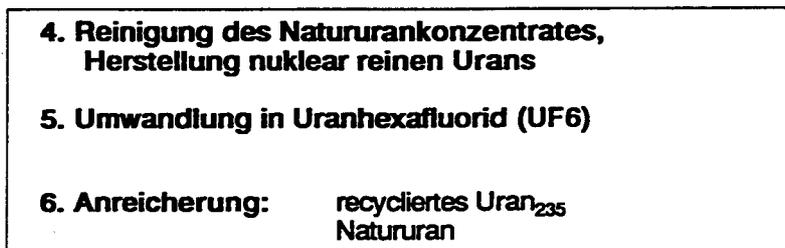
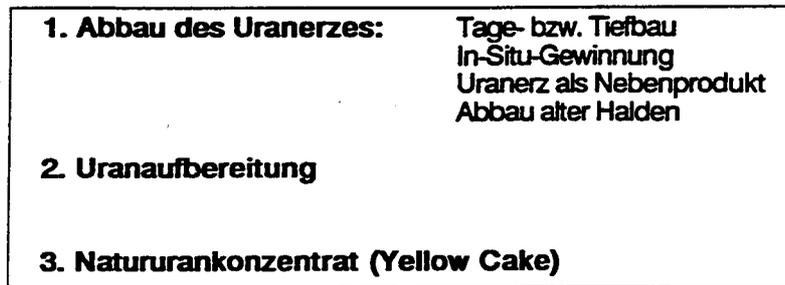
(2) Dieser Vorgehensweise liegt die Vorstellung zugrunde, dass im Gegensatz zu den vermuteten externen Effekten des Normalbetriebs (mit relativ sicheren Erkenntnissen über die Schadensvolumina) bei einem Kernschmelzunfall

- sowohl die Schadensabläufe selbst, als auch
- die Eintrittswahrscheinlichkeit solcher Abläufe

extrem ungesichert sind, gleichzeitig aber die Schadenspotentiale unvergleichlich höher sein können als im Bereich der "Normalbetriebsschäden".



## Abb.1: Prozesskette Kernenergie (LWR)



## **1.2.2 Uranerzförderung und -konzentratherstellung**

(1) Bei der Uranerzförderung und der Urankonzentratherstellung treten externe Effekte in Form von Gesundheits- und Naturraumschäden auf.

**Gesundheitsschäden** werden durch die radioaktive Belastung der Arbeiter bei der Inhalation von Radon und ihrer Zerfallsprodukte und durch die von den anstehenden Uranerzen ausgehende Gammastrahlung verursacht. Besonders hoch sind die Strahlendosen im Untertageabbau, während im Tagebau, sowie insbesondere bei der "in situ-Auslaugung" geringere Dosen freierwerden. Neben der gesundheitlichen Gefährdung durch Radioaktivität sind Bergleute auch von "konventionellen" Schäden, z.B. Pneumokonioseerkrankung (Staublunge) oder Verletzung bei Arbeitsunfällen betroffen.

(2) Die Bevölkerung in der Umgebung einer Mine oder in der Nähe von Aufbereitungseinheiten kann bei offener Lagerung der strahlenden Erzreste bzw. durch offene Lagerstätten einer Bestrahlung durch Radon und Staubverwehungen ausgesetzt sein. Diese Gefährdung ist heute durch Überdeckung der Halden und Lagerstätten stark rückläufig.

(3) **Naturraumschäden** entstehen durch die Abnahme der Deckschichten im Tagebau oder die Aufhaldung grosser Erzrestmengen und die damit verbundene Nutzungsänderung umfangreicher Flächen. Diese Veränderungen können auch durch intensive Rekultivierungen nicht rückgängig gemacht werden. Die Folge ist eine tiefgreifende Umgestaltung von Flora und Fauna. Sowohl die morphologischen Veränderungen als auch die Veränderungen der Biotope dieser Flächen bewirken in vielen Fällen einen Attraktivitätsverlust dieser Gebiete für den (erholungssuchenden) Menschen.

(4) Ein erschreckendes Beispiel für die Folgen fehlender Umweltschutzmassnahmen sind die Hinterlassenschaften der SDAG Wismut in der ehemaligen DDR. Dort befinden sich neben 800 - 1000 Abraumhalden 18 Absetzbecken mit bis zu 70 m dicken Schichten von Aufbereitungsschlamm und 200 Erzverladestellen. Insgesamt stehen 23 ha Fläche unter Altlastenverdacht (radioaktive Verseuchung). Der Naturraum ist fast vollständig zerstört.

Arbeitsmediziner haben Wismut als drittgrössten Schadensfall der Welt durch radioaktive Strahlung nach Tschernobyl und Hiroshima/Nagasaki bezeichnet (32. Jahrestag der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin in Köln 1992). Bisher wurden knapp 6.000 Krebsfälle als

"berufsbedingt" anerkannt. Die Untersuchungen sind noch bei weitem nicht abgeschlossen. Eine Monetarisierung der externen Effekte fand bislang nicht statt. Vorläufig wird mit Sanierungskosten von 12-20 Mrd DM gerechnet.

(5) Weitere Belastungen der Umwelt entstehen durch **Sickerwasser** aus den Halden, das Radionukleide in das Grundwasser und die Vorfluter einbringen kann. Durch Eindringen von Grundwasser in aufgelassene Bergwerke kann es zu einer Kontaminierung des Trinkwassers kommen.

(6) Zu beachten sind auch **chemische Hilfstoffe** beim Abbau und v.a. bei der Herstellung des Urankonzentrats. Das Urankonzentrat selbst ist nur schwach radioaktiv, da die Zerfallsprodukte bei der Herstellung abgetrennt werden und das Uran selbst nur eine geringe Aktivität aufweist.

### 1.2.3 Aufbereitung der Kernbrennstoffe

(1) Die weitere Aufbereitung des Urankonzentrats (yellow cake) zu Urandioxidtabletten, dem Ausgangsstoff für Brennelemente, geschieht durch Konversion und Anreicherung.

Bei der Konversion wird das Urankonzentrat gereinigt und in nuklearreines Uranhexafluorid ( $UF_6$ ) umgesetzt. Im nächsten Schritt, der Anreicherung, wird im gasförmigen  $UF_6$  der Anteil des Uran 235 erhöht.

(2) Bei beiden Schritten sind Emissionen unvermeidbar. Es kommt zu einer Erhöhung der Radioaktivität in der Umgebung (und im Betrieb selbst) mit den damit verbundenen Risiken für die Beschäftigten und die Bevölkerung. Nach /Kallenbach, Thöne, 1989/ "überwiegen die chemischen Risiken einer  $UF_6$ -Freisetzung die radiologischen" (allerdings) "bei weitem".

Eine Erhöhung der Emissionen und des Risikos einer gefährlichen Freisetzung von radioaktiven Partikeln besteht bei der Verwendung von recyceltem Uran, da dieses (im Gegensatz zum Natur-Urankonzentrat) mit einer Reihe von Isotopen verunreinigt ist, die in einem Dekontaminationsprozess vor der Konversion abgetrennt werden müssen.

(3) Bei der Herstellung der Brennelemente muss zwischen  $UO_2$ - und MOX-Elementen unterschieden werden. Das in den Elementen enthaltene Urandioxid ( $UO_2$ ) wird aus  $UF_6$  konvertiert; Mischoxid-Elemente (MOX) enthalten zudem Plutonium und strahlen daher wesentlich stärker. Externe Effekte sind hier die durch Freisetzung von chemischen und radioaktiven Noxen auch im Normalbetrieb verursachten Gesundheitsschäden bei den Beschäftigten der Brennelementhersteller und der Bevölkerung.

## 1.2.4 Kraftwerksbetrieb

(1) Reaktoren geben im Normalbetrieb geringe Mengen an Strahlung ab. Bei "kleineren" Störfällen kann es zu erhöhten Freisetzungen kommen. Die im Vergleich zur natürlichen Radioaktivität abgegebene Zusatzbelastung wird allgemein als gering angesehen.

(2) Man sollte sich jedoch davor hüten, hieraus auf ein letztlich zu vernachlässigendes Schadenspotential zu schliessen. Viele Experten sind der Auffassung, dass es überhaupt keine harmlose radioaktive Dosis für Menschen gibt. Hier sind auch embryoschädigende Folgen (teratogene Folgen) sowie Genomschäden (Schädigungen des Erbgutes) zu beachten. Allerdings ist der empirische Nachweis schwierig (siehe weiter unten).

(3) Insbesondere ist die Herstellung einer eindeutigen Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen Strahlungsabgabe durch kerntechnische Anlagen im Normalbetrieb und Gesundheitsschäden durch eine Vielzahl weiterer Strahlungsquellen erschwert. Vor allem die atmosphärischen Atomwaffentests in den fünfziger Jahren haben zu einem weltweiten Anstieg der Radioaktivität geführt. Radioaktive Partikel werden auch z.B. bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe frei. Eine Übersicht über weitere Strahlungsquellen zeigt Abbildung 2.

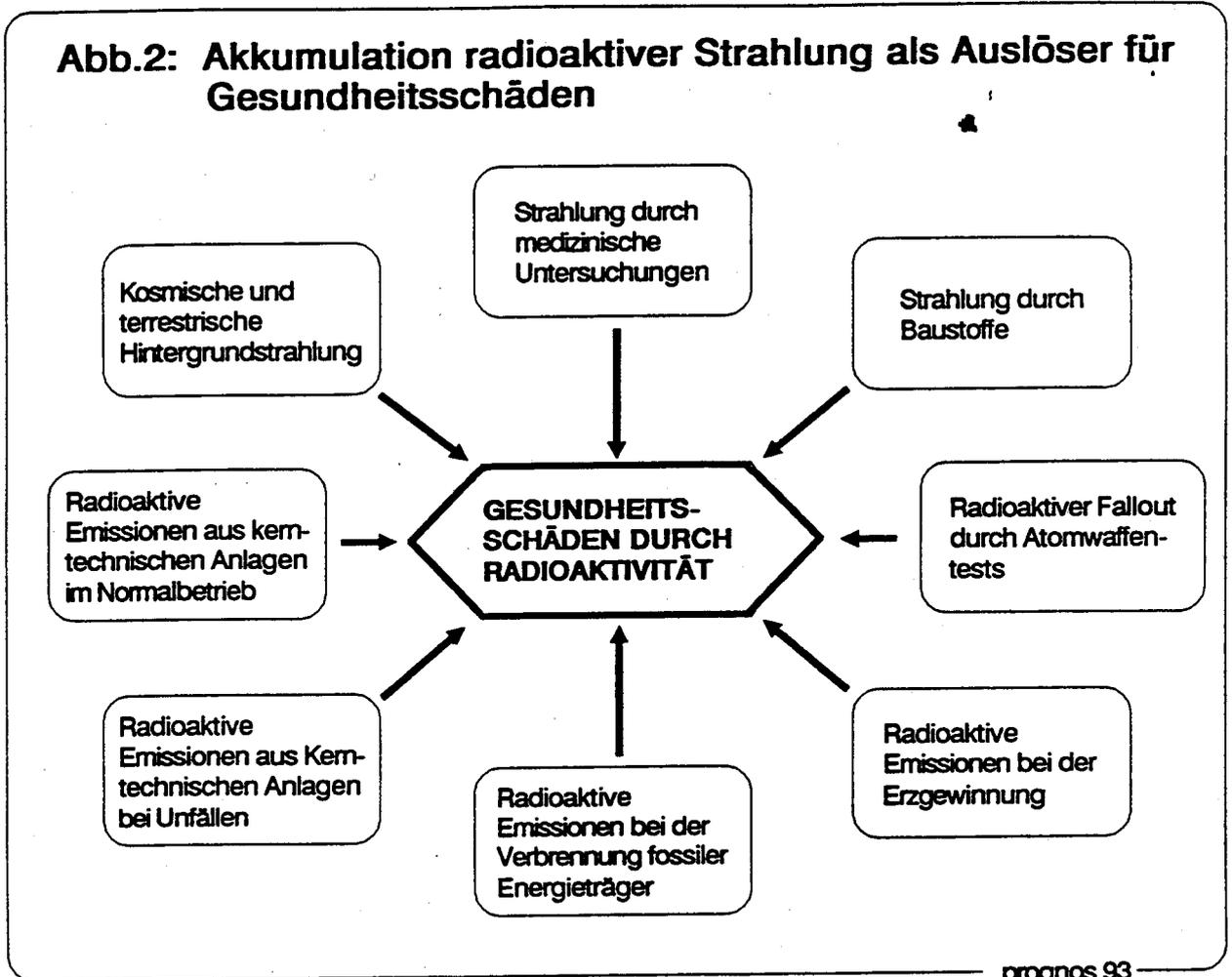
(4) Ausser radioaktiven Strahlungen führen weitere kanzerogene Stoffe wie Nikotin, Asbest etc. zu Krebserkrankungen. Dadurch wird eine eindeutige Ursache-Wirkungszuordnung weiter erschwert.

(5) Die Folgen der verschiedenen, in der Prozesskette Kernenergienutzung freigesetzten Spaltprodukte auf die menschliche Gesundheit variieren zudem je nach Gewicht, Partikelgrösse, Halbwertszeit und Ort der Ablagerung im Körper. Weitere, eine Zuordnung der Auswirkungen radioaktiver Partikel erschwerende Eigenheiten sind:

- die Verzögerung zwischen Emission und Deposition im menschlichen Körper,
- die Akkumulation bzw. Verweildauer im Organismus und die z.T. im Bereich von Jahrzehnten liegende Zeitspanne bis zum Ausbruch einer Erkrankung.

(6) Die Wirkung geringer Dosen radioaktiver Strahlung auf die menschliche Gesundheit wird in der Fachwelt sehr kontrovers diskutiert.

**Abb.2: Akkumulation radioaktiver Strahlung als Auslöser für Gesundheitsschäden**



prognos 93

Dass schädigende Wirkungen auch bei sehr kleiner Dosis tatsächlich auftreten, ist seit langem aus der diagnostischen Anwendung von Röntgenstrahlen bekannt. Hervorzuheben ist aber, dass es sich um stochastische Schäden handelt, d.h. dass

- sie nicht bei jedem Bestrahlten auftreten und
- die Rate des Auftretens in einem bestimmten bestrahlten Kollektiv dosisabhängig ist.

Im Zusammenhang mit Überlegungen zum Strahlenschutz wird dabei kein Schwellenwert bei den sogenannten Dosiswirkungskurven angenommen, d.h. es wird davon ausgegangen, dass bei Näherung der Dosis an den Nullpunkt die Wahrscheinlichkeit des strahlenbedingten Auftretens von Krebs oder Mutationen zwar nicht verschwindet, sich aber ebenfalls dem Wert Null nähert.

Die empirische Verifikation dieser These ist äusserst schwierig, weil sie z.T. nur aus einer **rechnerischen** Extrapolation der Wirkung hoher Dosen (z.B. Hiroshima/Nagasaki) in den Bereich niedriger und niedrigster Dosen abgeleitet wird. Die Autoren der vorliegenden Studie sehen sich ausserstande, in diesem Bereich eine Bewertung vorzunehmen. Hier bleibt nur, kontroverse Positionen aus der Fachwissenschaft zu konstatieren:

So führt Fritzsche /Fritzsche, 1993/ in einem Gutachten zu einem Berichtsentwurf der vorliegenden Untersuchung aus:

"Die erwähnte lineare Extrapolation ist eine Hypothese, welche in der Fachwelt des Strahlenschutzes als konservativ eingeschätzt wird. Das heisst, auf Grund dieser Hypothesen werden mögliche Schäden bei kleinen Dosen überschätzt. So hält etwa Prof. Feinendegen fest /Feinendegen, 1987/, dass die lineare Hypothese "nützlich für den Strahlenschutz (sei), aber nicht direkt zur Vorhersage gesundheitlicher Schäden nach Absorption sehr kleiner Dosen benutzt werden (kann)".

Je länger je mehr verdichten sich die Belege, wonach kleine Strahlendosen nicht nur nicht schädlich sind, sondern sogar positiv wirken. Frau Prof. Fritz-Niggli hat kürzlich hierüber eine Übersicht gegeben /Fritz-Niggli, 1993/. Im Bereich des Strahlenschutzes sind daher in der Fachwelt seit längerer Zeit Diskussionen im Gange, um eine sogenannte "de minimis" Dosis festzulegen, unterhalb welcher nicht mehr mit einem Schaden gerechnet wird. Hier sind Dosen zwischen 1 und 10 mrem/a im Gespräch und nun auch im Entwurf der Strahlenschutzverordnung aufgenommen worden.

Wenn man zudem die grosse Dosisspanne berücksichtigt, die in ein und demselben Land zufolge unterschiedlichen Wohnorts und unterschiedlicher Lebensweise ein bis mehrere 100 mrem/a beträgt, so wird klar, dass kleine Dosen, sagen wir in der Grössenordnung von einigen 10 mrem/a nicht als gesellschaftlich relevant angesehen werden können. Voraussetzung für eine Abschätzung wirklich relevanter Schäden wäre eine vernünftige Festlegung einer solchen Dosischwelle" (Ende des Zitats).

Frau Prof. Schmitz-Feuerhake spricht dagegen z.B. in einem Beitrag für den Fachverband für Strahlenschutz über die "Evidenz der Gesundheitsschäden im Niederdosisbereich" von einer **drastischen Unterschätzung der Niederdosiseffekte:**

"Die hier (in dem erwähnten Beitrag, Anm. d. Verfassers) behandelten Wirkungen und Dosiswirkungszusammenhänge erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit des Diskussionsstandes, den wir heute aufgrund einer überwältigenden Fülle von Befunden im Niederdosisbereich haben, schon gar nicht sind sie als konservativ anzusehen. Derartige Effekte heute noch zu leugnen oder sie quantitativ bei Umweltverseuchungen, beruflicher Strahlenexposition oder in der radiologischen Diagnostik als irrelevant hinzustellen, bedeutet eine gemeingefährliche Verharmlosung" /Schmitz-Feuerhake, 1990/.

(7) Vergleichsweise "harmlose" externe Effekte sind im Kraftwerksnormalbetrieb durch die Kühlprozeduren zu beobachten. In der Schweiz werden Beznau I und II und Mühleberg mit Flusswasser gekühlt, Gösgen und Leibstadt sind mit Kühltürmen ausgestattet. Durch Erwärmung des Flusswassers tritt eine ökologische Belastung ein. Mikroklimatische Veränderungen können infolge der Abgabe von Wasserdampf durch die Kühltürme auftreten.

## **1.2.5 Wiederaufbereitung der Brennstoffe, Endlagerung, Kraftwerksdemontage**

(1) Die Wiederaufbereitung der Brennelemente wird im kommerziellen Massstab in West-Europa nur in den Anlagen Windscale in Grossbritannien und in La Hague in Frankreich verfolgt. Bei der Wiederaufbereitung werden in einem chemisch und energetisch aufwendigen Verfahren die Spaltprodukte von Rest-Uran 235 und Plutonium abgetrennt. In der Eingangsstufe werden die Brennelemente zerlegt, zerkleinert und anschliessend der bestrahlte Brennstoff chemisch aus den Hülzen herausgelöst. Gasförmige Schadstoffe und Aerosole die beim Zerschneiden und beim Auflösen des Brennstoffs freiwerden, durchlaufen eine Abgasreinigung. In einer Folge von chemischen Trennprozessen werden dann

- störende Spaltprodukte und Aktinidenelemente von den Wertstoffen Uran und Plutonium abgetrennt und der Endlagerung zugeführt
  
- der Uran/Plutoniumstrom aufgetrennt und jedes der beiden Rohprodukte einer Feinreinigung unterzogen.

In den Prozessabgasen der Anlagen sind Radionuklide. Die Aerosole einer Wiederaufarbeitungsanlage enthalten Spaltprodukte und Aktinidenelemente. Neben der Gefährdung der Beschäftigten durch Strahlung und chemische Noxen kommt es im Normalbetrieb durch die Abgabe von Krypton, Tritium, Cäsium, Jod über den Luft- und Wasserpfad zu einer Erhöhung der Radioaktivität in der Umgebung der Anlage.

(2) Ein besonders krasses Beispiel ist die Abgabe kontaminierter Abwässer in die Irische See durch die Anlage Windscale, die zu einer starken radioaktiven Belastung dieses Gebietes geführt hat. Die Schäden für die Meeresbiotope (und im Verlauf der Nahrungsmittelkette auch für Menschen) sind wiederum nicht abzuschätzen. Hier gelten ähnliche empirische Restriktionen wie bei den radioaktiven Emissionen im Kraftwerks(normal)betrieb. Die Befunde von Gardner u.a. über die Leukämien bei Sellafield lassen keinen Zweifel mehr zu, dass ein Zusammenhang mit der Strahlung aus der Wiederaufarbeitungsanlage nachweisbar war /Gardner et al, 1990 a und b/. Im Ort Seascale bei Sellafield war die kindliche Leukämierate um das 8-fache erhöht, und die Autoren fanden heraus, dass bei 4 von 5 dort registrierten Fällen die Väter vor der Zeugung in der Wiederaufarbeitungsanlage gearbeitet haben und zu den höchst exponiertesten Beschäftigten dort gehörten. Insgesamt war das Leukämierisiko der Kinder von Sellafield-Beschäftigten um den Faktor 2,8 erhöht.

(3) Bei der nuklearen Entsorgung und Endlagerung wird zwischen den in allen Prozessstufen anfallenden radioaktiven Abfällen und der Stilllegung und Demontage der (kontaminierten) technischen Anlagen unterschieden.

Für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle werden derzeit zwei Ansätze verfolgt:

- zum einen die direkte Endlagerung der radioaktiven Abfälle, und zum anderen
- die sogenannte integrierte Entsorgung, bei der ein Wiederaufbereitungsprozess vorangeht.

Die Abfälle werden in beiden Ansätzen in der Konditionierungsanlage für die Endlagerung vorbereitet. Diese Konditionierungsanlagen geben radioaktive Stoffe an Wasser und Luft ab.

(4) Externe Effekte bei der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen entstehen u.a. beim Abbruch der Kraftwerke durch Emissionen radioaktiver Stoffe.

Allerdings liegen bis heute kaum praktische Erfahrungen vor, da der zur Zeit stattfindende Abbruch des Kraftwerks Niederaichbach (100 MW) den ersten in dieser Leistungsklasse darstellt. Bisherige Erfahrungen beruhen auf dem Abbruch einiger kleinerer (Forschungs-) Reaktoren (vor allem in den USA).

In Bezug auf die Externalität der hierbei anfallenden Kosten ist zu beachten, dass die Kosten für die Endlagerung und die Stilllegung selbst als (antizipierte) Aufwendungen im Strompreis kalkuliert und insofern bereits internalisiert sind. Dies gilt auch, wenn sich - wie bereits heute beobachtbar - die Kostenantizipationen als zu niedrig erweisen ("nachzuholende Internalisierung"). Die Externalitäten beziehen sich daher vor allem auf die Schadenspotentiale aus Emissionen.

## 1.2.6 Zusammenfassung und Relevanzprüfung

(1) Die nachfolgende Abbildung 3 fasst die identifizierten externen Effekte der Prozesskette Kernenergie im Normalbetrieb zusammen.

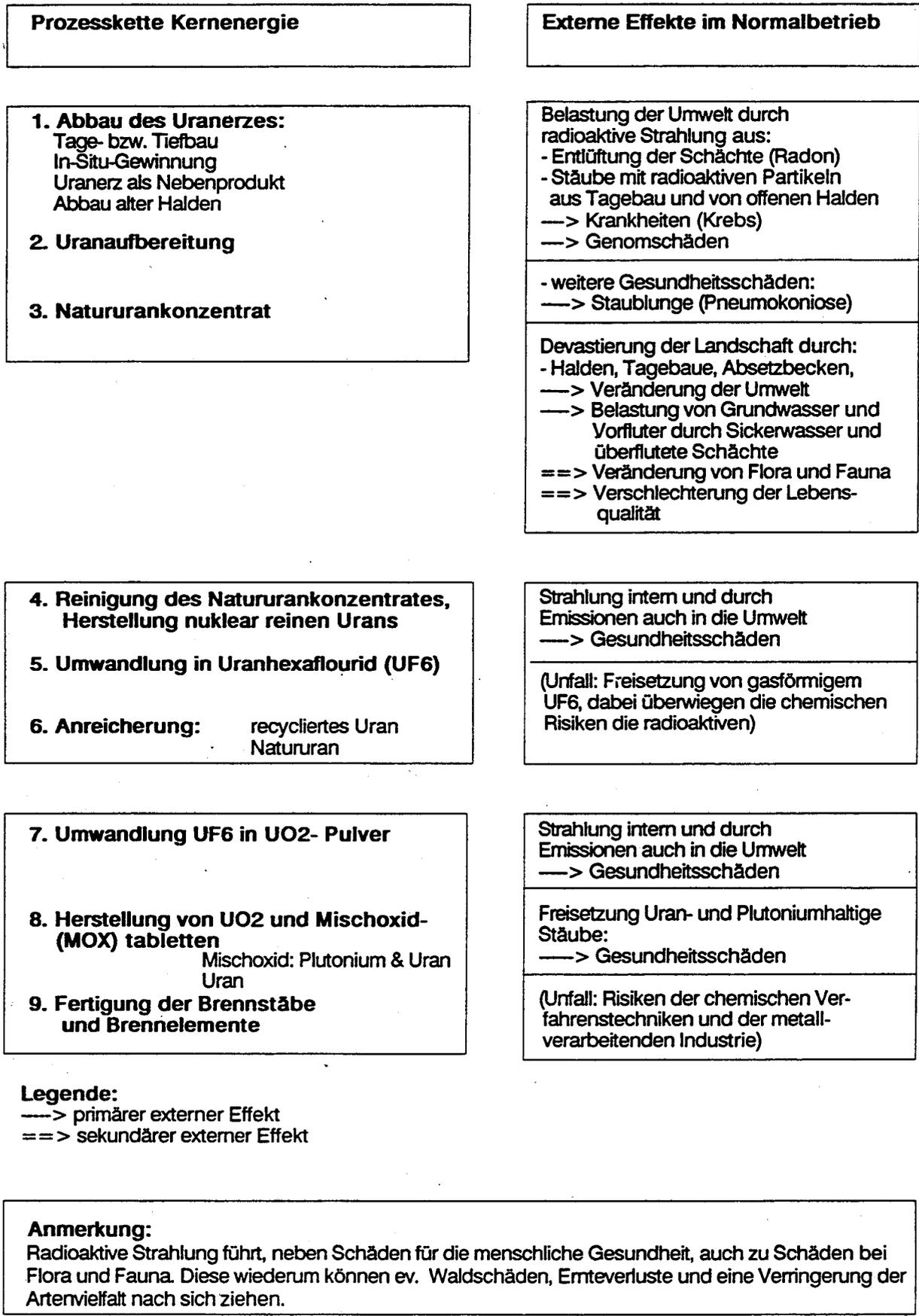
Für eine Relevanzprüfung ist es zweckmässig, die Schadenskategorien in die beiden grossen Blöcke Gesundheitsschäden und Naturraumschäden zu untergliedern. Die Relevanzprüfung verfolgt dabei nicht die Fragestellung, ob einem Effekt überhaupt Bedeutung zuzumessen ist. In diesem Sinne sind alle aufgeführten Effekte relevant. Sie bezieht sich vielmehr auf den Aspekt, dass Effekte der geschilderten Art im Sinne der Fragestellung der Untersuchung, nämlich einer belastbaren Monetarisierung der Effekte und der Internalisierung dieser Effekte in Energiepreiszuschläge, einer genaueren Quantifizierung und Bewertung in Geldeinheiten zugänglich sind oder nicht.

Da bei Naturraumschäden keine genaueren Untersuchungen vorliegen und gesamtgesellschaftlich die Bewertung einer Gefährdung der Gesundheit und das Todesrisiko für Menschen erheblich höher eingeschätzt wird, stehen in der Abbildung 4 die Morbiditäts- und Mortalitätsrisiken in der Relevanz an oberster Stelle.

(2) "Diffuse" externe Effekte, wie die optische Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, vor allem aber die ganze Palette psychosozialer Effekte werden in dieser Einordnung als "nachrangig" verbucht (im Sinne der Möglichkeit, sie monetarisieren zu können).

Es muss aber klar hervorgehoben werden, dass damit auf keinen Fall die Brisanz solche Effekte heruntergespielt werden soll. Externe Effekte im psychischen Umfeld, aber auch im gesellschaftlichen Bereich sind überaus bedeutsame Einwirkungen des Energiesystems. In einer kürzlich für das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft fertiggestellten Grundlagenstudie "Identifizierung und Internalisierung externer Kosten der Energieversorgung" hat Prognos aufgezeigt, dass gerade die quantitativ oder monetär wenig fassbaren Kategorien wie Angst, Leid, Trauer oder Verlust des gesellschaftlichen Konsenses, Staatsattentismus, allgegenwärtige unfreiwillige Risikobedrohung und vieles mehr ebenso tiefgreifende externe Effekte darstellen wie monetär belegbare Material- oder Gesundheitsschäden. Es besteht sogar die Vermutung, dass solche externen Effekte in der Internalisierungsdebatte eine grössere Rolle spielen müssen als Kosten- und Preiserwägungen. Verfolgt man aber konsequent die Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung, externe Kosten für die Dimensionierung eines Energiepreisaufschlags zu bestimmen, so werden psychosoziale Schäden, ebenso wie Aspekte der Gefährdung der Artenvielfalt und der Biotope wegen der bisher fehlenden empirischen Grundlage (die z.B. mit Hilfe sogenannter Contingent Valuation Methoden [vgl. S. 23 ff] gewonnen werden könnten) zurückgestellt werden müssen.

**Abb. 3: Externe Effekte im Normalbetrieb**



**Legende:**  
 —> primärer externer Effekt  
 ==> sekundärer externer Effekt

**Anmerkung:**  
 Radioaktive Strahlung führt, neben Schäden für die menschliche Gesundheit, auch zu Schäden bei Flora und Fauna. Diese wiederum können ev. Waldschäden, Ernteverluste und eine Verringerung der Artenvielfalt nach sich ziehen.

## 10. Kraftwerksbetrieb

Strahlung intern und durch Emissionen auch in die Umwelt:  
Abluft: Edelgase, C-14-Kohlenstoff, radioaktive Aerosole  
Abwasser: v.a. Tritium, weitere radioaktive Spalt- und Korrosionsprodukte  
—> Gesundheitsschäden

Erwärmung v. Luft u. Wasser du. Kühlung:  
—> Mikroklimaveränderungen  
==> Ertragseinbussen in der Landwirtschaft  
==> Biotopveränderungen

Landschaftsverschandelung durch Baukörper:  
—> Einbussen an Lebensqualität

## 11. Entsorgung/Endlagerung/ Wiederaufarbeitung

Strahlung intern und durch Emissionen auch in die Umwelt (Wasser)  
—> Gesundheitsschäden

Freisetzung Uran- und Plutoniumhaltige Stäube:  
—> Gesundheitsschäden

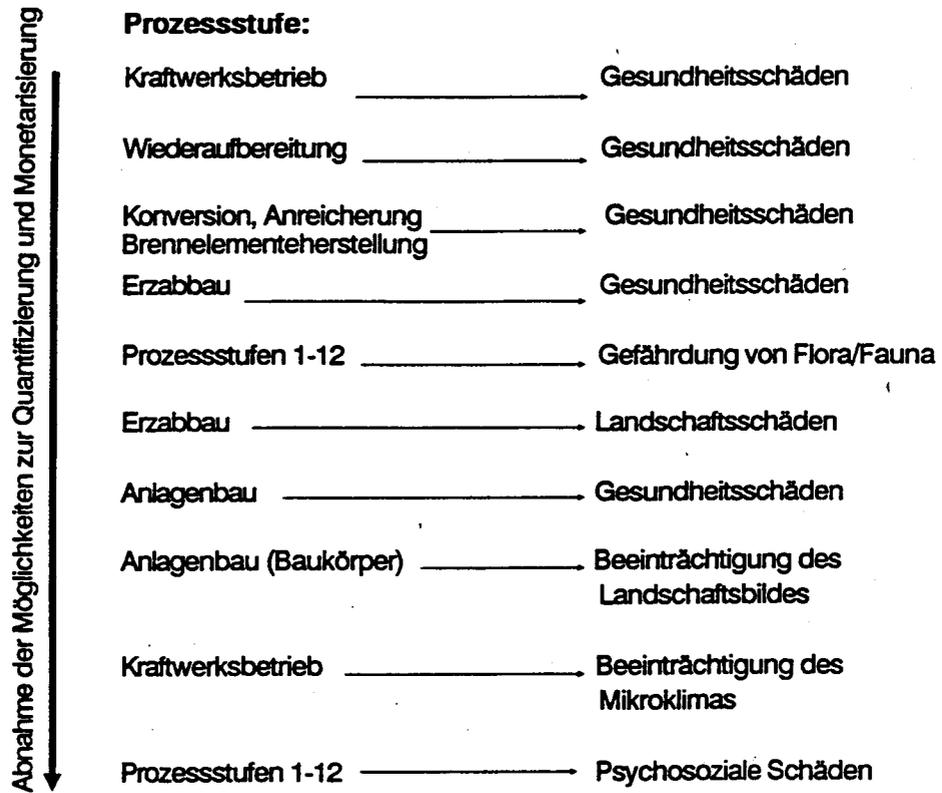
Freisetzung von Radionukliden  
—> Gesundheitsschäden

Unfall: Kritikalitätsstörfall, Brand, Explosion  
—> Gesundheitsschäden

## 12. Transporte

- Transporte innerhalb des Minenkomplexes (Schritte 1-3)
- Transport zur Aufbereitungsanlage und Brennelementherstellung
- Transport der Brennelemente zum Kraftwerk
- Transport der verbrauchten Brennelemente und der aktiven Abfälle der Stufen 1-11 sowie der Wiederaufbereitungsprodukte

### Abb.4: Relevanz und Monetarisierungsmöglichkeiten externer Effekte des Normalbetriebes von Nuklearanlagen



### 1.3. Quantifizierung und Monetarisierung der externen Effekte im Normalbetrieb

(1) Wie erwähnt, wird sich die Untersuchung bei der Quantifizierung externer Effekte im nuklearen Normalbetrieb auf den Bereich Gesundheitsschäden beschränken. Andere Effektkategorien werden entweder mangels Daten (z.B. Beeinträchtigung von Flora und Fauna) oder mangels operationaler Relevanz nicht monetär erfasst.

Zum Thema Gesundheitsschäden gibt es eine ganze Reihe von Studien, die sich allerdings meist nur auf einzelne Stufen der Prozesskette Kernenergienutzung beziehen.

(2) Eine **Gesamt**betrachtung aller Elemente der Prozesskette ist die Arbeit von /Fritzsche 1988/, in der versucht wurde, die bislang vorhandenen Studien zu diesem Themenkomplex zusammenzufassen.

Betrachtet werden in dieser Studie allerdings ausschliesslich **Gesundheitsrisiken mit tödlichem Ausgang**, da, neben Datenproblemen "die Häufigkeit von Todesfällen ... eine Stellvertreter- oder Indikatorrolle für den integralen Schweregrad sämtlicher gesundheitlicher Auswirkungen eines Schadensereignisses spielt, wenn auch die Relationen unter den Auswirkungen unterschiedlicher Schwere bis zu einem gewissen Grad situationsspezifisch sind" /Fritzsche, 1988/. Morbiditätsschäden, Schäden in Fauna und Flora und psychosoziale Schäden sind damit ausgeklammert.

(3) Unterschieden werden muss bei der Mortalität zwischen dem sogenannten Kollektivrisiko (wie gross ist das Risiko eines Ereignisses für die **Bevölkerung insgesamt** oder Teile dieser Bevölkerung) und dem Individualrisiko, dem Risiko des Einzelnen, bei einer bestimmten Tätigkeit oder durch ein bestimmtes Ereignis zu verunfallen.

Quantitative Risikoangaben dieser Art lassen sich zumindest für bereits länger eingeführte Tätigkeiten aus entsprechenden Unfall-, Krankheits- oder Todesstatistiken ableiten. Für neue Arbeitsprozesse sind in vielen Fällen aus vergleichbaren, bereits seit längerem praktizierten Prozessen ebenfalls Risiken errechenbar. In der Praxis zeigen sich jedoch Mängel in Vollständigkeit, Umfang, Zuverlässigkeit und besonders der Gliederung entsprechender Statistiken, die eine Zuordnung zu spezifischen Arbeitsgängen erschweren und oft nur die Berechnung von Durchschnittswerten zulassen.

**Tabelle 1: Todesfallrisiken der elektrischen Energieproduktion durch Kernkraftwerke  
(nach /Fritzsche, 1988/ je GWa)**

**a) Beschäftigte**

Prozessstufe	Todesfallrisiken durch	
	Unfall	Erkrankung
- Uranerzförderung (Bergbau)	0,02 - 0,1	0,104 - 0,16
- Erzaufbereitung	0,002 - 0,01	0,0005 - 0,08
- Konversion zu UF <sub>6</sub>	0,0003 - 0,004	0,0005 - 0,001
- Urananreicherung	0,001 - 0,002	0,0005 - 0,001
- Brennelementefabrikation	0,0006 - 0,007	0,002 - 0,03
- nukleare Transporte	0,002 - 0,01	0,00003 - 0,004
- Kernkraftwerk (Bau und Betrieb)	0,06 - 0,3	0,015 - 0,08
- Wiederaufbereitung	0,002 - 0,02	0,002 - 0,01
- Entsorgung (Abfälle und Stilllegung)	0,0012 - 0,013	0,0015 - 0,005
<b>Total</b>	<b>0,089 - 0,466</b>	<b>0,126 - 0,372</b>

**b) Bevölkerung**

Prozessstufe	Todesfallrisiken durch	
	Unfall	Erkrankung
- Uranerzförderung, Erzaufbereitung		0,0005 - 0,025
- Erzresthalde		0,001 - 0,01
- Konversion zu UF <sub>6</sub>		0,001 - 0,04
- Urananreicherung		0,00001
- Brennelementefabrikation		0,00004 - 0,0002
- nukleare Transporte	0,001 - 0,01	0,00001 - 0,004
- Kernkraftwerk (Betrieb)		0,001 - 0,02
- Wiederaufbereitung		0,001 - 0,05
- Entsorgung (Abfälle und Stilllegung)		0,00002 - 0,0401
<b>Total</b>	<b>0,001 - 0,01</b>	<b>0,0046 - 0,189</b>

Bei neuen Technologien ist eine solche Risikoabschätzung besonders in Bezug auf laufende Entwicklungsprozesse erschwert. Obwohl auch Kernkraftwerke als relativ neue Technologie anzusetzen sind, reichen aber die inzwischen weltweit gesammelten Betriebserfahrungen für eine Risikoabschätzung zumindest von Mortalitätsschäden für den Fall routinemässiger Tätigkeiten aus.

(4) Erfahrungen dieser Art erfassen natürlich keine seltenen Kraftwerksunfälle oder sehr seltene Grossunfälle. Für diese Ereignisse müssen, wie noch zu zeigen sein wird, mögliche Unfallabläufe simuliert und daraus folgende Schäden und die Wahrscheinlichkeit für diese Schäden modellhaft geschätzt werden (diese methodische Vorgehensweise wird als probabilistische Risikoanalyse bezeichnet). Mit Ausnahme der Tschernobyl-Katastrophe und der Havarie in Harrisburg sind Basis der Schätzungen Erfahrungen über das Verhalten bestimmter Anlagenkomponenten und/oder menschlicher (fehlerhafter) Eingriffsaktionen.

(5) Die in der Fachliteratur zu findende starke Streuung der Risikodaten zum nuklearen Normalbetrieb beruht sowohl auf Unsicherheiten über die Ursache/Dosis-Wirkungsbeziehung bei Strahlenschäden, als auch auf realen Unterschieden in den Voraussetzungen (Rahmenbedingungen) zur Ermittlung der Risikowerte. Zu diesen Rahmenbedingungen zählen die technischen Anlagen selbst (Stand, Prozessführung), aber auch Arbeitsbedingungen und Sicherheitsstandards.

(6) Die vorhandenen Risikoabschätzungen aus der Fachliteratur werden von Fritzsche auf die Einhaltung bestimmter Rahmenbedingungen überprüft, evtl. angepasst und ggf. ausgeschieden (z.B. Bevorzugung der Daten aus dem europäischen Raum gegenüber US-Daten, Bevorzugung neuerer Daten gegenüber älteren, Anpassung an Schweiz-spezifische Besonderheiten [hohe Bevölkerungsdichte, hohe Sicherheitsstandards]). Die verbleibenden Streuungen spiegeln einerseits technische Unterschiede innerhalb des heutigen "Standes der Technik", andererseits aber auch methodische Ungenauigkeiten, sowie Unschärfen der verwendeten Ausgangszahlen wider.

Die in der Tabelle 1 wiedergegebenen Risikoparameter für die Schweiz beruhen auf einer solchen Zusammenstellung teils originärer, teils angepasster Risikoabschätzungen aus der Fachliteratur für die einzelnen Stufen der Prozesskette Kernenergienutzung. Sie unterscheiden zwischen Todesfallrisiken für Beschäftigte und Bevölkerung, sowie für beide Gruppen zwischen sofortigen, durch Unfälle bedingten und verzögerten, durch Erkrankungen (Krebs) bedingten Todesfällen. Mutagene, teratogene und psychische Schäden werden dabei vor allem aus

- Die zugrundeliegenden Untersuchungen wurden zum überwiegenden Teil **nicht für die Schweiz** angefertigt, sondern durch Umrechnungen auf schweizerische Verhältnisse übertragen. Bei der anschliessenden Verdichtung der verschiedenen Basisdaten zu einer Bandbreite fliessen notwendigerweise Wertvorstellungen des Verfassers ein.
- Eine Quantifizierung wird hier auch durch die Tatsache erschwert, dass eine ganze Reihe von Prozessstufen **ausserhalb der Schweiz** anzusiedeln ist. Da der genaue Ort (und damit die Produktionsbedingungen) in vielen Fällen kaum identifizierbar sind, ist eine Quantifizierung schwierig.
- **Morbiditätsrisiken** werden nicht bewertet. Mutagene und teratogene Langzeitschäden bei einer Exposition einer Vielzahl von Menschen mit radioaktiven Niedrigdosen sind nicht erfasst.
- Untersuchungen im Schadensfeld "**Naturraumschäden**" sind bislang weder für die Prozesskette noch für einzelne Bausteine im Bereich der Kernenergie erstellt worden. Vorhandene Untersuchungen, wie sie z.B. im Rahmen des Forschungsschwerpunktes "**Kosten der Umweltverschmutzung / Nutzen des Umweltschutzes**" im Auftrage des bundesdeutschen Ministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit erarbeitet worden sind, sind - weil sie sich auf die externen Effekte der Nutzung fossiler Energiesysteme beziehen - nicht übertragbar.
- **Psychosoziale Schäden** werden nicht quantifiziert.

(9) Insgesamt ist hier erkennbar, dass der aufgezeigte Wert von 14 bis 78 Todesfällen für die gesamte nukleare Prozesskette im Normalbetrieb nur einen Teil der Externalitäten beschreibt und - angesichts der schier unüberwindbaren empirischen Schwierigkeiten - auch nur einen Teil beschreiben kann.

Das Aufzeigen von methodischen und empirischen Defiziten darf dabei auf keinen Fall als Kritik an dem Versuch bewertet werden, überhaupt belastbares quantitatives Material zusammenzutragen. Ungeklärt bleibt dabei natürlich die Frage, ob das verfügbare Datenmaterial quantitativ nur die "Spitze des Eisbergs" erfasst oder ob nicht doch die "wesentlichen Elemente" der Externalitäten beschrieben sind.<sup>1)</sup> Hier ist kein Weg in Sicht, wie eine solche Frage überhaupt beantwortet werden kann.

---

1) Ebenso schwer sind quantitativ Effekte zu bestimmen, die aus der Reparatur- und Schutzwirkung kleiner radioaktiver Dosen resultieren und die den oben beschriebenen negativen externen Effekten "gegengerechnet" werden müssten. Vgl. hierzu /Fritz-Niggli 1989 und 1993/.

Um so wichtiger ist nochmals der Hinweis, dass der Versuch, externe Effekte **quantitativ** zu bestimmen, zwar ein wichtiges Element jeder Externalitätendebatte sein muss. Hinzu kommen muss aber stets eine übergreifende, eher **qualitativ** orientierte Einbettung dieser Ansätze in einen gesellschaftlichen und politischen Diskurs über alle relevanten (quantifizierbaren und nicht quantifizierbarer) Aspekte der Externalitäten.

(10) Dies gilt auch für die **Monetarisierung** der beschriebenen Effekte. Hier werden zusätzliche methodische Probleme (aber auch interessante Aspekte monetärer **Bewertungsprozeduren**) sichtbar.

(11) Im Kern geht es dabei um die Problematik der **monetären Bewertung menschlichen Lebens**.

Eine häufig verwendete Methode ist dabei die sogenannte **Human-Capital-Methode**. Bei der Human-Capital-Methode werden die Kosten der Morbidität durch die anfallenden Lohnfortzahlungs- und Krankengeldbeiträge bei Arbeitsunfähigkeit und die Produktionsausfälle bestimmt. Krankheitskosten von Nichterwerbstätigen werden nicht berücksichtigt. Auch für Todesfälle geht der Humankapitalansatz bei der Monetarisierung von zu berechnenden Produktions- bzw. Einkommensausfällen durch - vorzeitigen - Tod aus.

Natürlich ist dieser Monetarisierungsansatz völlig unzureichend, weil er Kosten nur insofern berücksichtigt, als ein Ausfall von **menschlicher Produktionsleistung** eintritt. Diese Reduktion des Wertes der Gesundheit, noch ausgeprägter: die Reduktion des Wertes eines menschlichen Lebens auf Produktionsziffern - und dann auch nur auf die, die über den Arbeitsmarkt erhoben werden -, wird nicht nur allgemein, sondern auch von der ökonomischen Theorie scharf zurückgewiesen.

Zum einen wird kritisiert, dass nach einem solchen Ansatz z.B. der "Wert" eines Hausfrauen- oder Rentnerlebens Null wäre. Nachdrücklich wird zudem darauf hingewiesen, dass alle Aspekte der Beeinträchtigung des Wohlbefindens, wie

- Schmerzen, Trauer
- allgegenwärtige unfreiwillige Risikobedrohung
- psychosoziale Schäden

ausgeblendet werden. Solche Faktoren lassen sich nur über Methoden der sogenannten "Hedonistischen Preisanalyse" (HPA) oder über eine Abfrage von Zahlungsbereitschaften erfassen, wenn auch nur mit einer für Ökonomen bemerkenswerten Unschärfe.

Die nachfolgende Übersicht gibt Informationen über die geläufigen Methoden.

Um so wichtiger ist nochmals der Hinweis, dass der Versuch, externe Effekte **quantitativ** zu bestimmen, zwar ein wichtiges Element jeder Externalitätendebatte sein muss. Hinzu kommen muss aber stets eine übergreifende, eher **qualitativ** orientierte Einbettung dieser Ansätze in einen gesellschaftlichen und politischen Diskurs über alle relevanten (quantifizierbaren und nicht quantifizierbarer) Aspekte der Externalitäten.

(10) Dies gilt auch für die **Monetarisierung** der beschriebenen Effekte. Hier werden zusätzliche methodische Probleme (aber auch interessante Aspekte monetärer **Bewertungsprozeduren**) sichtbar.

(11) Im Kern geht es dabei um die Problematik der **monetären Bewertung menschlichen Lebens**.

Eine häufig verwendete Methode ist dabei die sogenannte **Human-Capital-Methode**. Bei der Human-Capital-Methode werden die Kosten der Morbidität durch die anfallenden Lohnfortzahlungs- und Krankengeldbeiträge bei Arbeitsunfähigkeit und die Produktionsausfälle bestimmt. Krankheitskosten von Nichterwerbstätigen werden nicht berücksichtigt. Auch für Todesfälle geht der Humankapitalansatz bei der Monetarisierung von zu berechnenden Produktions- bzw. Einkommensausfällen durch - vorzeitigen - Tod aus.

Natürlich ist dieser Monetarisierungsansatz völlig unzureichend, weil er Kosten nur insofern berücksichtigt, als ein Ausfall von **menschlicher Produktionsleistung** eintritt. Diese Reduktion des Wertes der Gesundheit, noch ausgeprägter: die Reduktion des Wertes eines menschlichen Lebens auf Produktionsziffern - und dann auch nur auf die, die über den Arbeitsmarkt erhoben werden -, wird nicht nur allgemein, sondern auch von der ökonomischen Theorie scharf zurückgewiesen.

Zum einen wird kritisiert, dass nach einem solchen Ansatz z.B. der "Wert" eines Hausfrauen- oder Rentnerlebens Null wäre. Nachdrücklich wird zudem darauf hingewiesen, dass alle Aspekte der Beeinträchtigung des Wohlbefindens, wie

- Schmerzen, Trauer
- allgegenwärtige unfreiwillige Risikobedrohung
- psychosoziale Schäden

ausgeblendet werden. Solche Faktoren lassen sich nur über Methoden der sogenannten "Hedonistischen Preisanalyse" (HPA) oder über eine Abfrage von Zahlungsbereitschaften erfassen, wenn auch nur mit einer für Ökonomen bemerkenswerten Unschärfe.

Die nachfolgende Übersicht gibt Informationen über die geläufigen Methoden.

## Ansätze zur Monetarisierung von Gesundheitsschäden durch Externe Effekte

Ansatz	Vorgehensweise	Kritikpunkte
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Abfrage (contingent valuation) von Zahlungsbereitschaften zur Vermeidung von Gesundheitsschäden oder Verminderung des Todesrisikos, willingness-to-pay (WTP)</li> <li>* Abfrage von Entschädigungsforderung (Kompensation) bei Inkaufnahme eines erhöhten Gesundheits- oder Todesrisikos willingness to accept (WTA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Interviews zur Abfrage der subjektiven Wert-einschätzung des Betroffenen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Die Beurteilung z.B. gesundheitlicher Wirkungen von Luftverunreinigungen ist für die Betroffenen kaum zu leisten (insb. wenn es sich um nur einen einzigen Schadstoff handelt) oder die Problematik ist für Befragten unbekannt</li> <li>* WTP und WTA können sich nach empirischen Studien in ihrer Höhe unterscheiden.</li> <li>* Basiert auf mündlichen Angaben zum Verhalten</li> <li>* Je nach Fragestellung andere Ergebnisse</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Humankapitalansatz, d.h. entgangener Beitrag zum Sozialprodukt wird berechnet. ("objektive Methode")</li> <li>* Hedonistische Preisanalyse (HPA) Preisvergleich von Gütern mit verschiedener Umweltqualität ("subjektive Methode")</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* z.B. werden Dosis-Wirkungsbeziehungen über multiple Regressionsanalysen aufgedeckt. Ermittlung von Elastizitäten (Änderung von Mortalitäts- bzw. Morbiditätsraten in Abhängigkeit der Schadstoffbelastung). Eine Zunahme der Raten wird in verlorene Produktivität u. Behandlungskosten umgerechnet.</li> <li>* Lohnzuschläge bei Arbeitsplätzen mit höherem Gesundheitsrisiko ("wage risk studies").</li> <li>* Preisdifferenzen von Häusern in verschiedenen Wohnlagen oder Befragung, z.B.:  Inwieweit würden höhere Mieten oder Grundstückspreise in einer Gegend ohne Umweltbelastungen gezahlt? ("hedonic property price approach").</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Außer den wirtschaftlichen Verlusten muß auch der "Wert" einer Reduzierung des Krankheits- oder Todesrisikos für den Betroffenen (z.B. zur Zahlungsbereitschaftsanalyse) einbezogen werden</li> <li>* Ethische Dimension: "Wieviel ist ein Mensch wert?"</li> <li>* Nicht alle Personen beziehen ein Einkommen (Hausfrauen, Rentner).</li> <li>* Gesundheitsschäden, die keine volkswirtschaftlichen Kosten verursachen, bleiben unberücksichtigt (psychische Schäden).  Subjektive Präferenzen für Vermeidung von Risiken bzw. subjekt. Nutzeneinbußen bei einer Erhöhung von Risiken werden nicht berücksichtigt.</li> <li>* Nicht immer werden Risiken freiwillig eingegangen</li> <li>* die Übertragbarkeit auf andere Risiken ist nicht immer gewährleistet</li> </ul>

Ein Beispiel für den **Zahlungsbereitschaftsansatz** ist eine Arbeit von /Willecke et al., 1990/: Die Autoren versuchten eine Kostenschätzung für die Summe aller **Lärmbelastigungen**. Sie ermittelten über einen Zahlungsbereitschaftsansatz externe Kosten in Höhe von insgesamt bis zu 24 Mrd DM (für die alten Bundesländer der BRD). Davon entfielen fast 18 Mrd auf den Bereich Verkehr.

Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts "Kosten der Umweltverschmutzung / Nutzen des Umweltschutzes" wurden von /Schluchter et al., 1989/ für Deutschland die **psychosozialen Kosten** der Umweltverschmutzung insgesamt untersucht. Es wurden Einschränkungen des Wohlbefindens von Individuen durch umweltverschmutzungsbedingte Aggressionen, Ängste, Ohnmachtsgefühle und Resignation in 5000 Computer-Interviews abgefragt. Eine Hochrechnung ergab, dass für die Vermeidung der psychosozialen Folgen der Umweltverschmutzung eine Zahlungsbereitschaft von 40-65 Mrd DM besteht.<sup>1)</sup>

Auch andere Untersuchungen weisen darauf hin, dass die sogenannten direkten Methoden (Zahlungsbereitschaftsanalyse) der sogenannten Contingent Valuation Method (CVM) deutlich höhere Kosten ergeben als z.B. der Human-Capital-Ansatz.

In den USA ist die CVM zur Bewertung von Gesundheitsrisiken bereits verbreitet. Die Ergebnisse divergieren allerdings je nach Fragestellung und Art des untersuchten Risikos. /Violette, Chestnut/ geben in einem Überblick über verschiedene ältere Studien eine Bandbreite des Wertes tödlicher Gesundheitsrisiken an, die - auf das Jahr 1986 fortgeschrieben - zwischen 315.000 US-\$/Todesfall und 7,4 Mio US\$/Todesfall liegt /McDaniels, 1988/.

**Hedonistische Preisanalysen** schätzen implizit die Preise von Umweltgütern, indem sie Preise von Gütern mit unterschiedlicher Umweltqualität vergleichen. So können die Preisdifferenzen von Häusern in unterschiedlichen Wohnlagen Aufschluss geben, wieviel die Wirtschaftssubjekte für Umweltqualitäten wie Ruhe und saubere Luft zu bezahlen bereit sind /Pearce, Turner, 1990; Ewers, Schulz, 1982/. Die HPA ist in den Vereinigten Staaten bei der Bewertung von Lebensrisiken umfangreich erprobt /Ottinger et al., 1990/. Die empirischen Studien vergleichen die Löhne für Tätigkeiten unter lebensgefährlichen Risiken mit Löhnen für Tätigkeiten ohne diese Risiken. Die ermittelte Differenz wird als Lohnzulage für das eingegangene Unfallrisiko interpretiert. Die Lohnzulage drückt somit als Kompensationszahlung den ökonomischen Marktwert des mit der Tätigkeit verbundenen Risikos aus und lässt sich zur Bewertung des Risikos eines tödlichen Unfalls heranziehen. Zu fragen ist hier allerdings ob die gemessene Risikokompensation z.B. eines Tunnelbauarbeiters auf das **allgemeine Risiko** für die Bevölkerung übertragbar ist. Kritische Punkte sind vor allem

---

1) Um bereits hier einem Missverständnis vorzubeugen: Zahlungsbereitschaft heisst nicht, dass die Befragten dann auch tatsächlich entsprechende Beträge zu zahlen hätten. Es geht vielmehr um die Dimensionierung von Wertschätzungen.

- die Unfreiwilligkeit des Risikos
- die Begründung von z.B. Lohndifferenzen allein aus der Risikodifferenz.

In der Ottinger-Studie wird ein konservativer Mittelwert aus 10 Studien ermittelt, der bei 4 Mio US-\$/Todesfall liegt. Die Bandbreite von acht der zugrundegelegten Studien, die Risikozulagen nach der Methode der HPA ermitteln, liegt zwischen 0,7 und 12,8 Mio US-\$, die verbliebenen zwei Studien leiten wie Ottinger Werte aus anderen empirischen Studien ab, die auch vornehmlich die HPA angewendet haben.

Die beiden genannten Bewertungsansätze kommen damit zu deutlich höheren Kostenbeträgen als die Humankapitalmethode. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass die CVM und HPA eben nicht nur die ausfallende Produktionsleistung durch einen vorzeitigen Tod, sondern das ganze Spektrum der tatsächlichen Wertschätzung einer Verminderung des Todesrisikos umfassen.

(12) Die Monetarisierung der in diesem Abschnitt ermittelten Todesfälle beim Normalbetrieb der nuklearen Prozesskette (14 - 78 Todesfälle) kann damit auf zwei Ansätze gestützt werden

- Human-Capital-Methode: Es wird angenommen, dass durch vorzeitigen Tod im Durchschnitt 20 Arbeitsjahre verloren gehen. Bei einem durchschnittlichen Jahreseinkommen von 59.000 Fr ergibt sich der "Wert eines Menschenlebens" von 1,18 Mio Fr.
- Hedonistische Preisanalyse bzw. CVM: Gestützt auf die amerikanischen Untersuchungen und die Auswertung durch Ottinger (siehe oben) wird ein Wert von 5,5 Mio Fr zugrundegelegt.

Das Gesamtschadensvolumen durch Todesfälle errechnet sich damit auf der Basis des oben vorgestellten Zahlenmaterials (bezogen auf einen Zeitraum von 30 Jahren) auf

- |                              |      |   |              |
|------------------------------|------|---|--------------|
| - Humankapitalmethode        | 16,5 | - | 92,0 Mio Fr  |
| - Hedonistische Preisanalyse | 77,0 | - | 429,0 Mio Fr |

Der gesamte nukleare Kraftwerkpark der Schweiz erzeugt, wie in Ziffer (7) dargestellt, über 30 Jahre eine Strommenge von 619 Mrd kWh. Die Internalisierung des oben genannten Schadensvolumens ergäbe damit einen Preisaufschlag pro kWh Nuklearstrom von

0,0027 - 0,069 Rp.

## **2. DIE EXTERNEN EFFEKTE VON KERNSCHMELZUNFÄLLEN**

### **2.1 Identifizierung**

(1) Der weitaus grösste Anteil des in einem KKW vorhandenen Aktivitätsinventars befindet sich im Reaktorkern. Grössere Mengen an radioaktiven Stoffen können dabei nur freigesetzt werden, wenn der im Kern gebundene Brennstoff stark aufgeheizt wird und schmilzt. Ein Schmelzen des Kerns ist möglich, wenn er über längere Zeit nicht gekühlt wird und die Wärme aus dem Reaktor nicht abgeführt werden kann.

(2) Die Vorgänge beim Kernschmelzen selbst und die dabei auftretenden Phänomene sind komplex. Die deutsche Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) führt hierzu aus:

"Wird der Reaktorkern nicht gekühlt, so heizt die im Brennstoff erzeugte Nachzerfallswärme den Reaktorkern auf und bringt das Wasser im Reaktordruckbehälter zum Verdampfen. Die freigelegten Brennstäbe werden dabei so weit erhitzt, dass der Brennstoff schmilzt.

Beim Schmelzen des Brennstoffs versagen auch die Kerntragestrukturen. Geschmolzene Kern- und Strukturmaterialien stürzen in die Bodenkalotte des Reaktordruckbehälters. Dort noch vorhandenes Wasser verdampft. Schliesslich wird der Reaktordruckbehälter im unteren Bodenbereich durchschmolzen. Aufgeschmolzene Kern- und Strukturmaterialien fallen in die Reaktorgrube und dringen in den Beton des Gebäudefundaments ein.

Bleibt die Integrität des Sicherheitsbehälters über längere Zeit erhalten, so werden die aus der Schmelze freigesetzten Spaltprodukte weitgehend an inneren Einbauten und Wänden des Sicherheitsbehälters abgelagert oder im Wasser des Gebäudesumpfes zurückgehalten. Unfallabläufe, bei denen der Sicherheitsbehälter über längere Zeit, z.B. über mehrere Tage, dicht bleibt, sind daher nur mit einer sehr begrenzten Aktivitätsfreisetzung verbunden.

Andererseits sind aber auch Unfallabläufe möglich, die zu einer frühzeitigen und dann im allgemeinen erheblichen Aktivitätsfreisetzung führen können. Das sind Unfallabläufe, bei denen

- der Sicherheitsbehälter von Anfang an undicht ist oder
- die Rückhaltefunktion des Sicherheitsbehälters umgangen wird oder
- Belastungen auftreten, die zu einem frühen Versagen des Sicherheitsbehälters führen." /GRS 1989/

(3) Unfälle die zu einer (mehr oder weniger grossen) Freisetzung von Radioaktivität führen, können durch die verschiedensten Ereignisabläufe im Reaktorbetrieb ausgelöst werden. Die technische Beschreibung solcher Ereignisabläufe und die Bewertung der Wahrscheinlichkeit, dass solche Abläufe tatsächlich eintreten, ist Gegenstand sogenannter probabilistischer Risikoanalysen.

Solche Risikoanalysen zeigen in ihrer Grundstruktur, dass es zahlreiche Ereignisabläufe gibt, die zu geringen oder zu vernachlässigenden Freisetzungen führen, wobei die Eintrittswahrscheinlichkeit **relativ** hoch ist. Grosse Kernschmelzunfälle, bei denen das Containment des Reaktors versagt und grosse Mengen des radioaktiven Inventars in die Umgebung entweichen, sind nach diesen Analysen nicht auszuschliessen, ihre Wahrscheinlichkeit wird aber von vielen Experten als **extrem gering** eingeschätzt.

Dieser zuletzt erwähnte "worst case" zeigt neben der Dimension des Schadens eine zusätzliche Dimension des Phänomens "Externe Effekte der Energieversorgung" auf, nämlich das Zusammentreffen eines potentiell extrem hohen Schadens mit einer extrem niedrigen Eintrittswahrscheinlichkeit. Diese Konstellation war bei den bisher beschriebenen Effekten nicht so ausgeprägt vorhanden: Eine relativ hohe Eintrittswahrscheinlichkeit, bzw. der empirische Nachweis eines regelmässig zu beobachtenden Auftretens von Schäden war kombiniert mit im Einzelfall relativ geringen Schadensausmassen. Bei der Betrachtung von möglichen Kernschmelzunfällen ist damit nicht nur die **Identifizierung der Folgen** eines möglichen Unfalls, sondern auch der Umgang mit dem Phänomen des Risikos selbst ein zentrales Problem.

(4) Die möglichen Schäden von Kernschmelzunfällen sind vielfältig, in ihren extremen Ausprägungen sind sie unabsehbar. Angesichts der Schadenswirkungen solcher Extremunfälle wären die dabei entstehenden Kosten a priori extern, weil eine Internalisierung - im ökonomischen Sinn eine Einbeziehung in den Strompreis, im weitergefassten Sinn eine Einbeziehung in die Risikoentscheidung einer Gesellschaft - nicht explizit erfolgt.

Eine umfangreiche Liste der möglichen Schäden ist in Tabelle 2 aufgeführt /Hahn, Sailer, 1987/. Dieser Katalog möglicher Unfallschäden ist eine Art Checkliste, mit deren Hilfe Studien zur Quantifizierung und Monetarisierung von Kernschmelzunfällen daraufhin überprüft werden können, in welchem Umfang sie potentielle Schäden berücksichtigen bzw. vernachlässigen. Es wird noch zu zeigen sein, dass von den in der Tabelle angesprochenen Schadenswirkungen von Unfällen die Todesrisiken durch radioaktive Verstrahlung bei grösseren Freisetzungsmengen die absolut dominierende monetarisierbare Schadenskategorie wären. Würde man hier einen "Relevanzbaum" der Schadenskategorien aufstellen, so gälten die gleichen einschränkenden Bemerkungen wie bei der "Operation Relevanzprüfung" der externen Effekte im nuklearen Normalbetrieb. So könnten z.B. die aufgeführten Kategorien

- Auswirkungen auf andere Lebewesen
- soziale und politische Auswirkungen und
- ökologische Auswirkungen

extreme Dimensionen annehmen. Einer Quantifizierung oder gar Monetarisierung sind sie aber nicht zugänglich. Wie auch in Abschnitt 1 hervorgehoben, darf aber die operational notwendige Beschränkung auf wenige Schadensgrössen keinesfalls als Verniedlichung anderer möglicher Schäden und Effekte gedeutet werden.

**Tabelle 2: Mögliche Schadensarten eines Kernschmelzunfalls**

<p><b>Auswirkungen auf Leben und Gesundheit der Menschen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tote durch Unfalleinwirkungen</li> <li>- Spättote, z. B. Krebs durch Unfallfreisetzungen</li> <li>- akut Kranke nach Unfall, wieder heilbar</li> <li>- chronisch Kranke nach Unfall</li> <li>- genetische Schäden</li> <li>- psychische Schäden</li> <li>- Angst vor weiteren Auswirkungen oder Unfällen</li> </ul>
<p><b>Auswirkungen auf Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trinkwasserverseuchung kurzfristig/langfristig</li> <li>- Bodenverseuchung</li> <li>- beseitigbare Oberflächenkontamination</li> <li>- nicht beseitigbare Oberflächenkontamination</li> <li>- Unbrauchbarmachung von Nachbaranlagen</li> <li>- Unbrauchbarwerden von sonstiger Infrastruktur</li> </ul>
<p><b>Auswirkungen auf andere Lebewesen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verlust von wirtschaftlich genutzten Lebewesen</li> <li>- Verlust häufiger wildlebender Lebewesen</li> <li>- Verlust seltener/aussterbensbedrohter Arten</li> <li>- Verlust von Biotopen</li> </ul>
<p><b>Volkswirtschaftliche Auswirkungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten für Messungen und Katastrophenschutz</li> <li>- Kosten und Folgen der Beseitigung</li> <li>- Kosten und Folgen der Evakuierung</li> <li>- Produktionsverluste außerhalb der Unfallanlage</li> <li>- Folgekosten von Produktionsverlusten</li> <li>- Imageverlust für Unternehmen oder Branchen</li> </ul>
<p><b>Soziale und politische Auswirkungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswirkungen auf das Verhalten einzelner</li> <li>- Auswirkungen auf das Verhalten gesellschaftlicher Gruppen</li> <li>- Änderungen des Sozialverhaltens</li> <li>- Änderungen der sozialen und politischen Maßstäbe</li> <li>- Änderungen der Gesellschaft und des politischen Systems</li> <li>- Beeinträchtigung internationaler Beziehungen</li> <li>- Proliferation</li> </ul>
<p><b>Ökologische Auswirkungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswirkungen auf die Intaktheit der Biosphäre</li> <li>- Auswirkungen auf ökologische Ressourcen</li> <li>- Änderung natürlicher Bedingungen</li> </ul>

Quelle: Hahn / Sailer, 1987

## 2.2 Bewertung vorliegender Studien

(1) Neben zahlreichen Studien, die sich mit der Analyse möglicher kernschmelzinduzierter Schadensabläufe im und am Reaktor selbst befassen, sind in den letzten Jahren eine ganze Reihe von Arbeiten veröffentlicht worden, die sich vor allem mit den **Folgen** eines grossen Kernschmelzunfalls beschäftigen. Die nachfolgenden Übersichten geben Hinweise auf wichtige, in die Berechnungen solcher Art einflussende Parameter.

(2) Zum besseren Verständnis der Übersichten ist es einleitend hilfreich, die Grundstruktur der hierbei zur Anwendung kommenden Analysemethoden kurz zu erläutern.

Zunächst gilt es zu bestimmen, mit welchen Ereignisabläufen bei Kernschmelzunfällen zu rechnen wäre und welche **Mengen des radioaktiven Inventars** dabei freigesetzt werden könnten. Es soll bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass es **den Kernschmelzunfall** nicht gibt. Es lassen sich vielmehr die verschiedensten nicht beherrschbaren Ereignisabläufe denken, die - mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten (vgl. hierzu Abschnitt 2.3) - unterschiedliche Freisetzungsraten (sogenannte Quellterme) aufweisen.

In einem zweiten Schritt wird die Ausbreitung der Radioaktivität unter Berücksichtigung der verschiedensten klimatischen und geographischen Faktoren, der eingeleiteten Schutzmassnahmen und vor allem der Bevölkerungsdichte im betroffenen Raum bis zur Einwirkung auf die in diesem Raum lebenden Menschen verfolgt und quantitativ in die sogenannte **biologisch wirksame Kollektivdosis** umgesetzt. Masseinheit sind hier Personen-Sievert (bzw. Personen-rem:  $100 \text{ Personen-rem} = 1 \text{ Personen-Sv}$ ). Die Angabe einer Immission von einer Mio Personen-Sievert lässt dabei offen, ob eine Mio Menschen jeweils ein Sievert oder 100.000 Menschen jeweils 10 Sievert erhalten haben. Bei der Bestimmung der Kollektivdosis kommt aber die Bevölkerungsdichte zum Tragen: Bei einer gegebenen Strahlenmenge ist die Dosis in dünn besiedelten Gebieten entsprechend kleiner als in dicht besiedelten.

Konzentriert man sich bei der Folgenbetrachtung auf die durch radioaktive Strahlung induzierten somatische Krebschäden, so ist eine dritte wichtige Grösse die Anzahl der Personen, die (zusätzlich) an Krebs erkranken, wenn sie durch einen Reaktorunfall einer bestimmten Dosis ausgesetzt sind. Dieses Krebsrisiko wird meist in der Einheit "Tumore pro Mio Personen-Sv" (Dosis-Wirkungsparameter) angegeben.

Autor Jahr Land	IDENTIFIZIERUNG	QUANTIFIZIERUNG
Hohmeyer, Olav 1989 BRD	<p>Gesundheitsschäden (Krebsfälle) in einer dicht besiedelten Region und dadurch verursachte Produktionsverluste durch einen Kernschmelzunfall mit hohen Freisetzungsraten</p> <p>Als Basis dienen die globalen Gesundheitsschäden, die durch Tschernobyl verursacht wurden</p> <p>Berücksichtigung der höheren Bevölkerungsdichte in der BRD gegenüber Tschernobyl</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kollektivdosis: 240 Mio Personen-rem (2,4 Mio Personen-Sievert) * 10 (Berücksichtigung der gegenüber Tschernobyl höheren Bevölkerungsdichte mit Faktor 10)</li> <li>- Krebsfälle je Mio Personen-rem: 1.000</li> <li>- Krebstote: 2,4 Mio</li> </ul>
Hohmeyer, Olav 1990 BRD	wie Hohmeyer 1989	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wie Hohmeyer 1989, aber fünfmal höhere Kollektivdosis</li> <li>- Krebstote: 12 Mio</li> </ul>
Voss, Alfred 1990 BRD	<p>Geht bei Verfolgung verschiedener Schadensabläufe von z.T. deutlich niedrigeren Freisetzungspotentialen einer deutschen Anlage im Vergleich zu Tschernobyl und damit geringeren Krebsraten aus</p> <p>Berücksichtigung von</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evakuierungskosten</li> <li>- landwirtschaftlichen Produktionsausfällen</li> <li>- Vermögensverluste durch Sperrung von Landstrichen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Je nach Schadensablauf z.T. nur niedrige Freisetzungen auf Basis der Untersuchung /Wash 1400, 1975/</li> </ul>
Ottinger, Richard et al. 1990 USA	<p>Basis sind Gesundheitsschäden u. Besitzverluste aufgrund von Reaktorunfällen in den USA und Schätzungen zu Folgen von Tschernobyl, Krebschäden</p> <p>Auch andere Krankheiten werden berücksichtigt: geistige und genetische Schäden bei Neugeborenen</p> <p>Landwirtschaftliche Produktionsausfälle</p> <p>Als Basis dient die Annahme, daß die ehemalige UdSSR aufgrund von Tschernobyl ca. 10 % der jährlichen Getreidernte verliert</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kollektivdosis: 240 Mio Personen-rem (2,4 Mio Personen-Sievert)</li> <li>- Krebsfälle je Mio Personen-rem 770</li> <li>- Krebstote: 140.000</li> </ul>

Autor Jahr Land	IDENTIFIZIERUNG	QUANTIFIZIERUNG
Ewers, Rennings 1991 BRD	<p>Basis sind für die Schadensbewertung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berechnung vom Ökoinstitut Darmstadt zur radioaktiven Belastung nach einem grossen Kernschmelzunfall</li> </ul> <p>Basis für diese Berechnungen ist DRS-Phase-B (Biblis-Referenz)</p> <p>Berücksichtigt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unbewohnbarkeit eines Sperrgebietes für 5 Jahre, Verlust von Einkommen</li> <li>- Zusammenbruch des Marktes für frische Feldfrüchte (wie bei Tschernobyl)</li> <li>- Gesundheitsfolgen über umzusiedelnde Gebiete hinaus (vgl. Tschernobyl)</li> </ul> <p>Nicht berücksichtigt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Produktionsverluste in anderen Regionen, da sie durch Produktionsgewinne in anderen Regionen ausgeglichen werden</li> <li>- Kosten für Evakuierung und Dekontamination, da bislang unbekannte Kostengröße und im Vergleich zu anderen Kosten wohl vernachlässigbar</li> <li>- Schäden an Flora und Fauna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kollektivdosis: 480 Mio Personen-rem (4,8 Mio Personen-Sievert) * 10 (Berücksichtigung Bevölkerungsdichte mit Faktor 10)</li> <li>- Krebsfälle je Mio Personen-rem: 1.000</li> <li>- Krebstote: 4,8 Mio</li> </ul>
Küppers et al. Ökoinstitut BRD 1990	<p>Basiert ebenfalls auf DRS-Phase-B-Studie und untersucht die Folgen eines grossen Reaktorunfalls im KKW Krümmel</p> <p>Berücksichtigt wird</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nur ein Gebiet im 50 km-Umkreis des KKW</li> <li>- Overkill-Effekte</li> <li>- mögliche Evakuierung</li> <li>- Wetter (Regen ja/nein)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Freigesetzte Radioaktivität eines Quellterms vom Typ SBV (großflächiges Versagen des Sicherheitsbehälters) der DRS Phase B</li> <li>- Krebsfälle je Mio Personen-rem: 500</li> <li>- Krebstote: 112.000 (bei Regen), 14.000 bei trockenem Wetter</li> </ul>
Ewers, Rennings Prognos-Schriftenreihe "Externe Kosten" Band 2 BRD, 1992	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesundheitsschäden (Krebsfälle) in einer durchschnittlich dicht besiedelten Region Deutschlands</li> <li>- Sachschäden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kollektivdosis: 480 Mio Personen-rem (4,8 Mio Personen-Sievert) * 7 (Berücksichtigung höherer Bevölkerungsdichte mit Faktor 7)</li> <li>- Krebsfälle je Mio Personen-rem: 500 (ICRP-Wert)</li> <li>- Krebstote: 1,7 Mio</li> </ul>

(3) **Hohmeyer: Soziale Kosten des Energieverbrauchs, Berlin, Heidelberg 1989**

Hohmeyer beschränkt sich bei der Ermittlung von Kernschmelzschäden in der BRD darauf, das Ausmass der zu erwartenden Gesundheitsschäden zu quantifizieren. Er schätzt die Produktionsverluste, die durch Krebsfälle infolge eines Reaktorunfalls entstehen (Human-Capital-Methode). Ausgangspunkt der Schätzungen von Hohmeyer sind die globalen Gesundheitsschäden, die der Unfall in Tschernobyl verursacht hat. Aufgrund sowjetischer Veröffentlichungen geht er davon aus, dass die Bevölkerung durch den Unfall in Tschernobyl einer Strahlendosis von 240 Mio Personen-rem ausgesetzt wurde. Für die höhere Bevölkerungsdichte in der BRD legt er bei der Übertragung eines Unfalls dieser Art auf Deutschland einen Koeffizienten von 10 zugrunde.

Bei der Bewertung von Gesundheitsschäden berechnet Hohmeyer für einen Krebstod Produktionsverluste von 20 Erwerbsjahren à 50.000 DM, also eine Summe von einer Million DM. Ein nicht tödlich verlaufender Krebsfall kostet die Volkswirtschaft nach seinen Annahmen eine halbe Million DM, weil 10 Erwerbsjahre ausfallen. Ein Krebsfall wird demzufolge, bei einer angenommenen Sterblichkeitsrate von 50 Prozent, mit einem Durchschnittswert von 750.000 DM bewertet. Für den Dosis-Wirkungsparameter verwendet er einen Wert von 1.000 Strahlentoten je Mio Personen-rem.

Unter diesen Annahmen errechnet Hohmeyer für den Tschernobyl-Unfall selbst Krebschäden in Höhe von 180 Mrd DM und für einen Unfall vom "Typ Tschernobyl" in der BRD 1,8 Billionen DM. Eine neuere Berechnung, welche sich auf die Freisetzungsraten von Radioaktivität stützt, die die Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B für einen Kernschmelzunfall mit grossflächigem Versagen des Sicherheitsbehälters in Biblis angibt, kommt zu Schäden von 9 Billionen DM. Die in der DRS Phase B genannten grösstmöglichen Freisetzungsraten sind deutlich höher als die von Hohmeyer für Tschernobyl unterstellten Freisetzungen.

(4) **Voss et al: Externe Kosten der Stromerzeugung, Frankfurt 1990**

Einwände gegen die Vorgehensweise von Hohmeyer erhebt eine Studie unter Leitung von Alfred Voss. Die zentrale Kritik von Voss an der Hohmeyer-Studie zielt auf die Vergleichbarkeit der Fälle: Die Tschernobyl-Katastrophe könne nicht zum Ausgangspunkt für Reaktorunfälle in der BRD gemacht werden.

Die Kritik basiert auf der in der ersten Auflage der Voss-Studie beschriebenen Annahme, das Gefahrenpotential einer deutschen Anlage wie Biblis B liege "um mindestens eine Grössenordnung unter den in Tschernobyl gemessenen Freisetzungsraten". Die unterschiedlichen Grös-

senordnungen der Kernschmelzunfall-Schäden bei Hohmeyer und Voss lassen sich daher im wesentlichen darauf zurückführen, dass sie von Reaktorunfällen unterschiedlicher Grössenordnung ausgehen, wobei bei Voss Schadensabläufe mit sehr hohen Freisetzungsraten nur mit extrem niedrigen Eintrittswahrscheinlichkeiten eingehen.

Voss et al untersuchen neben Gesundheitsschäden auch die Kosten durch

- Evakuierung
- langfristige Schutzmassnahmen in Form von Dekontamination verseuchter Gebiete (Umpflügen von Äckern und Böden, Abtragung von Böden, zeitweilige Umsiedlung der Bevölkerung)
- landwirtschaftliche Produktionsausfälle
- Verlust von persönlichem Einkommen sowie Einkommen von Firmen und Vermögensverluste durch die Sperrung von Landstrichen.

Die Voss-Studie stützt sich bei ihren Berechnungen - da Tschernobyl als Maßstab abgelehnt wird - auf eine amerikanische Untersuchung, der noch die Risikostudie von Rasmussen aus dem Jahre 1975 zugrundeliegt /WASH 1400, 1975/. Die amerikanische Untersuchung bewertet neben Gesundheitskosten sämtliche Schadenskategorien, die Voss bei Hohmeyer vermisst. Dennoch liegt das Ergebnis eine Grössenordnung unter dem Wert, den Hohmeyer allein für Gesundheitsschäden berechnet.

(5) **Ottinger: Environmental Costs of Electricity, New York, London, Rom, 1990**

Eine Analyse der PACE-University zur Bewertung der externen Kosten der Elektrizität unter Leitung von Richard Ottinger berechnet mögliche Gesundheitsschäden und Besitzverluste infolge von Reaktorunfällen in den Vereinigten Staaten von Amerika.

Die Bewertung der Schäden aufgrund von Strahlenkrebs orientiert sich weitgehend an Hohmeyers Vorgehensweise. Es wird eine Freisetzung radioaktiver Substanzen und eine Kollektivdosis in der Grössenordnung von Tschernobyl angenommen. Die Schätzung der Krebschäden erfolgt in Anlehnung an die US-amerikanische Akademie der Wissenschaften, die von 770 Krebschäden pro Mio. Personen-rem ausgeht.

Bei der Bewertung von Krebschäden setzt die Ottinger-Studie im Vergleich zu Hohmeyer wesentlich höhere monetäre Kostensätze an. Ein tödlicher Krebsfall kostet 4 Mio. US-\$, ein nicht-tödlicher Krebsfall 400.000 US-\$. Die bemerkenswert grosse Differenz zu den bundesdeutschen Schätzungen ist auf die Verwendung unterschiedlicher Bewertungsverfahren zurückzuführen.

Die Ottinger-Werte von 4 Mio. US-\$ pro Todesfall basieren, wie erwähnt, auf einer Auswertung von acht empirischen Studien nach dem Verfahren der hedonistischen Preisanalyse.

Insgesamt kommt Ottinger auf Gesundheitsschäden in Höhe von 579 Mrd. US-\$.

Zusätzlich zu den Gesundheitsschäden bewertet Ottinger Vermögensverluste, wobei ausschliesslich landwirtschaftliche Produktionsausfälle betrachtet werden. Die Studie beziffert die landwirtschaftlichen Schäden aufgrund des Tschernobyl-Unfalls mit einer jährlichen Summe von 2,2 Mrd. US-\$ und einem Gesamtwert von 34 bis 73 Mrd. US-\$ (bei Diskontraten zwischen 3 und 6,5 Prozent). Dieser Bewertung liegt die Annahme von Agrarexperten zugrunde, dass die Sowjetunion aufgrund des Reaktorunfalls jährlich zehn Prozent ihrer Getreideernte verlieren würde.

(6) **Ewers/Rennings:** Die monetären Schäden eines Super-GAU in Biblis, Münster 1991

Die Schadensbewertung der Biblis-Studie von Ewers/Rennings stützt sich auf Berechnungen der radioaktiven Belastung infolge eines Kernschmelzunfalls, die vom Öko-Institut Darmstadt durchgeführt wurden /Küppers, 1990/. Die Berechnungen basieren auf meteorologischen Ausbreitungsszenarien, sowie auf den Ergebnissen der GRS Biblis-Studie. Das Kernkraftwerk Biblis B mit einem typischen Druckwasserreaktor deutscher Bauart dient in dieser Studie als Referenzanlage für diesen Reaktortyp.

Auf der Grundlage von bestimmten Szenario-Annahmen nehmen Ewers/Rennings eine Bewertung der Sach- und Gesundheitsschäden vor. Die Bewertung der globalen Gesundheitsschäden greift auf den Ansatz von Hohmeyer zurück. Er erscheint den Autoren für die Biblis-Szenarien adäquat, da er nach Auffassung der Autoren mit plausiblen Annahmen die zu erwartenden Schäden durch Strahlenkrebs abschätzt. Abweichend von Hohmeyer wird nur ein Quellterm in doppelter Höhe des unterstellten Tschernobyl-Quellterms angenommen und von einer Kollektivdosis von 480 Mio Personen-rem  $\cdot$  10 ausgegangen. Auf der Grundlage dieser Werte ergeben sich Gesundheitsschäden von 3,6 Billionen DM.

Die gesamten Sachschäden betragen 470 Mrd DM, wovon 420 Mrd DM auf Produktionsverlusten in einem Sperrgebiet und 50 Mrd DM auf globale landwirtschaftliche Verluste entfallen. Müssten zusätzlich zu der engeren Sperrzone weitere Gebiete evakuiert werden, könnte nach Ewers/Rennings der Sachschaden auf bis zu 1,14 Billionen DM ansteigen.

(7) **Ferguson: Environmental Costs of Energy Technologies, 1992**

In Grossbritannien haben sich Wissenschaftler, die im Rahmen verschiedener Studien an einer Monetarisierung der externen Effekte der Energieerzeugung arbeiten, zu einem Zentrum für techno-ökonomische Energie- und Umweltstudien (CEETES) zusammengeschlossen. Während sich einige der Studien zur Zeit der Fertigstellung dieses Berichts noch im Entwurfsstadium befanden, lag eine methodologische Studie von Baumann/Hill zur Identifizierung und Quantifizierung der sozialen und Umweltkosten der Elektrizitätserzeugung bereits vor /Baumann, Hill, 1991/. Ziel der Studie ist es, diejenigen Bereiche der Energieerzeugung zu identifizieren, die signifikante oder erhebliche Umwelteffekte aufweisen und deshalb weiterer, quantitativer Untersuchung zur Bewertung dieser Effekte bedürfen.

Die Kernenergie wird im Bereich Katastrophenrisiken als signifikant bis erheblich eingestuft. Baumann/Hill berufen sich dabei auf eine uns bisher noch nicht zugängliche Einschätzung von Ferguson /Ferguson, 1991/.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Kernschmelzunfalls mit mehr als 10.000 somatischen Spätschäden beziffert Ferguson mit 1 : 100.000.000, womit er um einige Zehnerpotenzen unter den Schätzungen von Hohmeyer und Ottinger liegt. Bei der Bewertung geht Ferguson als erste Annäherung von einer geschätzten (noch nicht empirisch getesteten) Risikobereitschaft der Bevölkerung aus, bei der

- unfreiwillige Risiken **doppelt so hoch gewichtet** werden wie freiwillige
- die Zahlungsbereitschaft zur Abwehr von Risiken mit zunehmendem Schadensausmass **quadratisch ansteigt**
- die Zahlungsbereitschaft zur Abwehr von Risiken bei einer Bedrohung des globalen ökologischen Gleichgewichtes **exponentiell ansteigt**.

Interessant ist an der Untersuchung von Ferguson, dass ein erster Versuch unternommen wird, den Einfluss von **Unfreiwilligkeit** auf die Zahlungsbereitschaft zur Abwehr von Risiken zu quantifizieren, und das "psychologische Risiko" über die quadratische Funktion zu schätzen. Um die Ergebnisse beurteilen zu können, muss jedoch die empirische Überprüfung durch eine geplante Contingent Valuation-Untersuchung abgewartet werden.

(8) Bei der **Bewertung** der Aussagekraft der verschiedenen Arbeiten ist zunächst festzuhalten, dass sich die Arbeiten von Hohmeyer, Ewers/Rennings, Ottinger und Küppers grundsätzlich von den Ansätzen von Voss und Ferguson unterscheiden: Die erstgenannten Autoren untersuchen jeweils nur den "worst case" eines Kernschmelzunfalls und lassen alle anderen mögli-

chen Ereignisabläufe ohne nennenswerte oder nur geringe Freisetzung des radioaktiven Inventars ausser acht. Unabhängig von der sehr kleinen Eintrittswahrscheinlichkeit des "worst case" stellen sie das mögliche Ausmass der Folgeschäden eines grossen Kernschmelzunfalls in den Vordergrund. Vor allem in /Ewers, Rennings, 1992/ ist Schwerpunkt der Darstellung der Umgang mit dem "Risiko an sich".

Voss et al und Ferguson untersuchen dagegen eine ganze Palette von möglichen Schadensfällen (mit unterschiedlichen Freisetzungsmengen) und bewerten diese mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten<sup>1)</sup> (probabilistische Risikoschätzung). Unfällen mit geringen Freisetzungen werden hierbei höhere Wahrscheinlichkeiten zugemessen, grosse Freisetzungen werden dagegen mit extrem kleinen Wahrscheinlichkeiten belegt. Im Ergebnis wird das Ausmass der Schäden des "worst case" durch die so ermittelten "Erwartungswerte" nicht mehr sichtbar.

(9) **Kritisch zu bewerten** sind einige Annahmen insbesondere von Hohmeyer und Ewers/Rennings, die den **Quellterm und die Berechnung der Kollektivdosis der Tschernobyl-Katastrophe** und ihre Übertragung auf die Besiedlungsverhältnisse in Deutschland betreffen:

Die Freisetzungsmenge radioaktiver Stoffe (Quellterm) beim Reaktorunfall in Tschernobyl konnte nicht während der Freisetzung bilanziert werden, sondern wurde zunächst aus der in der 30 km-Zone um den Unfallreaktor gemessenen radioaktiven Kontamination zurückgerechnet. Erste Angaben über die Freisetzung wurden von Seiten der ehemaligen UdSSR über die IAEA im August 1986 vorgestellt /UdSSR 1986/ (Tabelle 3).

Inzwischen wurden diese Daten durch verschiedene Autoren überprüft und unter Berücksichtigung der weltweit gemessenen Kontamination abgeschätzt. In /Khan 1990/ werden verschiedene Quelltermschätzungen für den Unfall in Tschernobyl bewertet. Die Schlussfolgerungen aus /Khan 1990/ sind in Tabelle 3 aufgeführt. Diese Freisetzungsraten sind insbesondere für Jod deutlich höher als die ursprünglich in /UdSSR 1986/ genannten Daten.

Hohmeyer ging noch davon aus, dass nur 3,5 % des radioaktiven Inventars freigesetzt wurde. Äusserungen des mitverantwortlichen Experten/Opfers von Tschernobyl, des Atomwissenschaftlers Tschernosenko verwirrten dagegen alsbald, weil Tschernosenko die Freisetzungsraten von nur 3,5 % als Legende bezeichnete, er selbst ginge von 80 % aus. Die Angaben in /Khan 1990/ wurden inzwischen durch neueste, noch nicht veröffentlichte Informationen russischer Institute bestätigt.

---

1) Eine solche Bewertung nehmen für den "worst case" auch Ewers/Rennings und Hohmeyer vor, sie steht aber nicht im Vordergrund der Analysen.

**Tabelle 3: Gegenüberstellung verschiedener Angaben zum Quellterm beim Unfall in Tschernobyl und des grössten Quellterms der DRS Phase B (in % des Inventars)**

Nuklidgruppe	UdSSR 1986	Khan 1990	GRS 1989 (SBV)
Edelgase	bis 100	ca. 100	100
Jod	20	40 - 68	50 - 90
Cäsium	10 - 13	10 - 43	50 - 90
Tellur	15	7 - 15	50 - 90
Ruthenium	2,9	0,5 - 6,5	0,001
Strontium	4	0,4 - 6	40
Barium	5,6	0,4 - 6	30
Lanthaniden	2,3 - 3,2	0,02 - 3	2
Aktiniden	2,0 - 3,2	0,02 - 4	4

Bei einer Übertragung des Quellterms des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf andere Anlagen sind - abgesehen von unterschiedlichen technischen Auslegungen und dem (Nicht-) Vorhandensein eines Containments - Unterschiede der Leistungsexkursion und Explosion in Tschernobyl gegenüber einem Kernschmelzen durch Kühlausfall - als häufigstes zu erwartendes Ereignis mit Kerzerstörung in Leichtwasserreaktoren - zu beachten. Bei einem Kernschmelzen durch Ausfall der Kühlung schmilzt der Kern innerhalb weniger Stunden; die Schmelze durchdringt den Reaktordruckbehälter. Radionuklide der Gruppen Edelgase, Jod, Cäsium und Tellur werden dabei vollständig oder zu sehr grossem Anteil aus der Schmelze freigesetzt. Spätestens beim Durchdringen des Reaktordruckbehälters ist durch verschiedene Mechanismen (Direct Containment Heating, grossflächiges Versagen des Reaktordruckbehälter-Bodens, Wasserstoffexplosion, Dampfexplosion) ein Versagen des Containments möglich. Die im Reaktordruckbehälter freigesetzten Radionuklide gelangen dann in die Umgebung. Für einen solchen Fall ist in Tabelle 3 ein Quellterm aus der Deutschen Risikostudie (DRS) Phase B /GRS 1989/ mit dem Druckwasserreaktor Biblis B als Referenzanlage aufgeführt.

Eine offizielle Erhebung der Kollektivdosis für 20 Wirtschaftsregionen in der ehemaligen UdSSR wurde in /Il'in 1988/ und /Pavlovskij 1988/ publiziert. Es wurde eine Kollektivdosis von etwa 326.000 Personen-Sv (32,6 Mio Personen-rem) angegeben. Der überwiegende Anteil der Kollektivdosis wurde auf Cäsium-137 zurückgeführt; allerdings wurde die Kollektivdosis auch nur für Jod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137 untersucht. Etwa zwei Drittel der Kollektivdosis wurden für Regionen mit 48, 61 bzw. 81 Einwohner pro km<sup>2</sup> ermittelt.

In /UNSCEAR 1988/ wird die Kollektivdosis für die nördliche Hemisphäre zu 600.000 Personen-Sv angegeben. /Anspaugh 1988/ berechnete für die nördliche Hemisphäre 1,2 Mio Personen-

Sv (120 Mio Personen-rem). Davon 37 % in der ehemaligen UdSSR und 63 % im gesamten restlichen Europa.

Für die Kollektivdosis ebenfalls zu berücksichtigen wären die zu Aufräumarbeiten eingesetzten "Liquidatoren". Deren Kollektivdosis hat mindestens 200.000 Personen-Sv betragen; wegen der Mängel in der Dosisüberwachung war sie wahrscheinlich grösser.

Bei dem Versuch, die Dosisangaben für Tschernobyl auf einen grossen Kernschmelzunfall in Deutschland zu übertragen, verwenden Hohmeyer und Ewers/Rennings einen Multiplikationsfaktor von 10 mit dem Hinweis einer im Vergleich z.B. zu Belorussland (35-45 Einwohner/qkm) 10 mal höheren Bevölkerungsdichte im grossräumigen Umfeld der "Referenzanlage" Biblis B. Abgesehen von dem ohnehin zu hohen "Startwert" von 240 Mio Personen-rem führt diese Operation zu deutlich überhöhten Werten der Kollektivdosis eines Tschernobyl-ähnlichen Unfalls in Deutschland. Richtig wäre es hier, die Tschernobyl-Kollektivdosis in den UdSSR-Teil (37 % der Kollektivdosis bei einer Bevölkerungsdichte von 35 Einwohner/qkm) und den Europa-Teil ohne UdSSR (63 % bei ca. 105 Einwohnern/qkm) aufzuteilen. Vergleicht man diesen Wert z.B. mit der Bevölkerungsdichte im Gebiet der alten Bundesrepublik von 246 Einwohnern/qkm, so ergäbe sich insgesamt ein Multiplikationsfaktor von etwa 4 und nicht von 10. Insgesamt sind damit die berechneten Kollektivdosen der genannten Autoren für einen Tschernobyl-ähnlichen Kernschmelzunfall auch in einem dicht besiedelten Land wie der Bundesrepublik zu hoch.

## 2.3 Quantifizierung und Monetarisierung für die Schweiz

### 2.3.1 Mögliche Quellterme und Kollektivdosen

(1) In der Schweiz werden 5 Leichtwasserreaktoren unterschiedlicher Bauart und unterschiedlichen Alters betrieben. 1991 lag der Erzeugungsanteil mit 21.654 GWh bei fast 39 % der gesamten schweizerischen Stromproduktion. Die nachfolgende Übersicht gibt Informationen über wichtige Kenngrößen der Kraftwerke.

	Inbetriebnahme	Bauart	Nettoleistung (MW)	Erzeugung 1991 (GWh)
Beznau I	1969	Druckwasserreaktor	350	2.474
Beznau II	1972	Druckwasserreaktor	350	2.601
Mühleberg	1973	Siedewasserreaktor	320	2.423
Gösgen	1979	Druckwasserreaktor	940	7.096
Leibstadt	1984	Siedewasserreaktor	990	7.060

(2) Bei der Analyse möglicher Quellterme muss man sich erneut darüber im Klaren sein, dass es nicht einen, sondern eine Vielzahl von Kernschmelzunfällen mit den unterschiedlichsten Freisetzungsraten (und Eintrittswahrscheinlichkeiten) geben könnte.

So zeigten bereits die Untersuchungen von Burke et al. für die Rasmussen-Studie WASH 1400 (1975) in sieben möglichen Freisetzungskategorien PWR1 bis PWR7 eine ganze Bandbreite von Freisetzungen. Auch die umfangreiche GRS-Untersuchung Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B /GRS 1989/ dokumentiert eine Vielzahl verschiedener möglicher Schadensabläufe:

F1-SBV	Freisetzung bei grossflächigem Versagen des Sicherheitsbehälters
F2-PLR	Freisetzung zu nicht beherrschtem Primärkreisleck im Ringraum (Bruch einer Nachkühlleitung)
F3-DE	Freisetzung in nicht beherrschtem Dampferzeugerheizrohrleck ohne oder mit Wasserauffüllung
F4-Leckage ND	Freisetzung mit kleinem Leck im Sicherheitsbehälter
F5-Druckentlastung	Freisetzung bei Druckentlastung des Sicherheitsbehälters
F6-DF	Freisetzung bei Durchschmelzen des Gebäudefundaments.

Die GRS führt hier aus:

"Sehr hohe Freisetzungen sind bei Unfallabläufen möglich, die bereits frühzeitig zu einem grossflächigen Versagen des Sicherheitsbehälters führen. Sie können bei Kernschmelzen unter hohem Druck oder bei Kernschmelzen unter niedrigem Druck mit nachfolgender Wasserstoffverbrennung, die den Sicherheitsbehälter zerstört, eintreten. Sie werden unter F1-SBV zusammengefasst. Für die hierzu angegebenen Freisetzungen wurden keine Einzelanalysen durchgeführt. Sie wurden lediglich abgeschätzt. Dabei wurde angenommen, dass bei Versagen des Sicherheitsbehälters mindestens 50 % der leichtflüchtigen Nuklide (Jod, Cäsium, Tellur) nach aussen gelangen und während der Schmelze-Beton-Wechselwirkung auch grössere Anteile schwerflüchtiger Nuklide freigesetzt werden.

Hohe Freisetzungen ergeben sich auch für den nicht beherrschten Bruch einer Nachkühlleitung im Ringraum (F2-PLR). Bei diesem Unfall werden etwa zwei Drittel der Spaltprodukte zurückgehalten, wenn es im Ringraum nicht zu einer Wasserstoffverbrennung kommt" /GRS, 1989/.

Bei F3 - F6 werden dagegen deutlich geringere Freisetzungen erwartet.

Die Spaltproduktfreisetzung normiert auf das jeweilige Kerninventar für den "worst case" F1-SBV ist in Tabelle 3 auf S. 38 dokumentiert worden. Festzuhalten ist hier, dass die GRS Freisetzungen von bis zu 90 % der leichtflüchtigen Nuklide (bei nicht näher quantifizierter, sehr niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit) nicht ausschliesst.

Die GRS ist sich dabei offensichtlich der grossen Unsicherheiten bei der Analyse von möglichen Kernschmelzunfällen bewusst. Hierzu einige wenige Zitate aus der Kurzfassung der Risikostudie Kernkraftwerke Phase B:

- "... zeigt sich, dass die Beurteilung der bei Unfällen auftretenden Belastungen und der mit ihnen verbundenen Auswirkungen mit grossen Unsicherheiten verbunden ist" (S. 4).
- "Die Untersuchungen zur Phase B zeigen, dass in der Behandlung verschiedener Teilaufgaben noch grosse Unsicherheiten bestehen. Dies trifft z.B. für die Beurteilung äusserst unwahrscheinlicher und extremer Unfallsituationen zu, für die die Unsicherheiten in der Beschreibung von Phänomenen und zur Eintrittshäufigkeit ... nicht ausreichend genau und belastbar quantifiziert werden können" (S. 28).
- "Die Untersuchungen zu Kernschmelzunfällen sind ... noch mit grossen Unsicherheiten behaftet. Insbesondere ist es derzeit nicht möglich, die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der verschiedenen Belastungen ausreichend genau zu quantifizieren. Dies betrifft insbesondere Belastungen, die bei Kernschmelzen unter hohem Druck auftreten, und Belastungen, die aus einer Wasserstoffverbrennung im Sicherheitsbehälter verursacht werden. Häufigkeiten für die mit den einzelnen Unfallabläufen verbundenen Aktivitätsfreisetzungen wurden daher in der Phase B nicht quantifiziert" (S. 83).
- "Die Untersuchungen zu Kernschmelzunfällen stützen sich weitgehend auf eine modellhafte Beschreibung von Phänomenen, die experimentell noch weiter abzusichern ist. Die Analyse der bei einem Kernschmelzunfall auftretenden Belastungen ist deshalb noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Es ist daher zur Zeit nicht möglich, das mit Belastungen aus Kernschmelzunfällen verbundene Risiko zu quantifizieren" (S. 93).
- "Hohe Freisetzungen ergeben sich immer dann, wenn Ereignisabläufe bis in extreme Unfallsituationen hinein untersucht werden. In der Studie sind für solche Unfallsituationen sehr niedrige Eintrittswahrscheinlichkeiten ermittelt worden. Dabei treten Phänomene und Belastungen auf, die oft nicht mehr im einzelnen analysiert werden können und deren probabilistische Bewertung auf grosse Schwierigkeiten stösst" (S. 95).

(3) Für die Schweiz werden derzeit von der HSK für alle Kernkraftwerke probabilistische Sicherheitsanalysen durchgeführt. Die Berechnungen für Beznau, Gösgen und Leibstadt sind jedoch noch nicht abgeschlossen. Ergebniszusammenfassungen für Mühleberg (unter Berücksichtigung des seit 1992 im Betrieb befindlichen Venting-Systems) wurden uns von der HSK freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Die HSK hat eine grosse Zahl möglicher Quellterme untersucht und hierbei auch die Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben. Hierbei zeigt sich, dass von der HSK bei dem weitaus grössten Teil der analysierten Quellterme nur geringfügige bis zu vernachlässigende Freisetzungen ermittelt werden, dass die meisten untersuchten Ereignisabläufe also relativ günstig verlaufen würden.

Aus den (zum Teil nur in grafischer Form vorliegenden) Zusammenfassungen lassen sich z.B. für die radiologisch relevanten Nuklide der Nuklidgruppen Jod und Cäsium die HSK-Angaben näherungsweise zu folgenden Gruppierungen der Quellterme für das KKW Mühleberg verdichten:

**Tabelle 4: Mögliche Quellterme bei Kernschmelzunfällen im KKW Mühleberg für Jod und Cäsium (Näherungswerte)**

Freisetzungsquellterme für Jod und Cäsium (% des Kerninventars)	Mittelwert	Eintrittswahrscheinlichkeit
unter 0,001 %	0,0005 %	1 : 200.000
0,001 % - 1 %	0,5 %	1 : 1.000.000
1 % - 10 %	5 %	13 : 10.000.000
10 % - 30 %	15 %	4 : 100.000.000
30 %	30 %	1 : 100.000.000

Quellterme mit Freisetzungsraten über 30 % werden von der HSK nicht untersucht. Solche Quellterme wurden für Mühleberg vom /Öko-Institut 1990/ analysiert. Wie erwähnt, hält auch die GRS Freisetzungen von 50 - 90 % von Jod, Cäsium und Tellur für nicht ausgeschlossen. Aus diesem Grund soll zusätzlich zu den HSK-Termen ein grosser Quellterm mit einem Mittelwert von 70 % in die Berechnungen einbezogen werden.<sup>1)</sup>

Für Beznau II (baugleich mit Beznau I) wurden Quellterme in /PLG 1991/ abgeleitet. Die HSK erarbeitet derzeit eine neue Analyse. Nach Information der HSK liegen die Verhältnisse für Beznau etwas ungünstiger als für Mühleberg. Hier könnten demnach etwas höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten angesetzt werden (vgl. Abschnitt 2.3.2 Ziffer (7)).

Das KKW Gösgen ist ein von Siemens/KWU gelieferter Druckwasserreaktor. Auf diese Anlage werden (mangels anderer Informationen) die Ergebnisse der deutschen Risikostudie Kernkraft-

1) Als Eintrittswahrscheinlichkeit wird hier der kleinste HSK-Wert von  $10^{-8}$  übernommen. Obwohl die GRS für solche Schadensabläufe keine eigenen Wahrscheinlichkeitsberechnungen durchgeführt hat, lassen die Ausführungen erkennen, dass näherungsweise von  $10^{-7}$  ausgegangen wird.

werke Phase B übertragen. Kernpunkt der Aussage ist hier, dass neben den in Tabelle 4 angeführten Quelltermen (für Jod und Cäsium) mit Freisetzungsraten unter 1 % bis 30 % des Kerninventars auch Quellterme mit Raten bis zu 90 % nicht ausgeschlossen werden können. Über Eintrittswahrscheinlichkeiten ist nichts bekannt. Die GRS rechnet mit einer Gesamtschadenshäufigkeit (also unter Einbezug auch kleinerer Unfälle) von 1:34.500 Betriebsjahren. Unter Berücksichtigung von anlageninternen Notfallmassnahmen wird eine totale Kernschadenshäufigkeit von 1:280.000 angegeben. Da der Wert dieser totalen Schadenshäufigkeit in der Größenordnung der oben erwähnten Eintrittswahrscheinlichkeitsverteilung in Mühleberg liegt, wird für Gösgen diese Werteverteilung als Näherung übernommen.

Das KKW Leibstadt ist ein Siedewasserreaktor von General Electric mit Mark-III-Containment. Es entspricht in seiner Grundkonzeption der Anlage Grand Gulf in den USA, für die Quelltermuntersuchungen in /NRC 1989/ durchgeführt wurden. Die Freisetzungsraten betragen hier im Beispiel eines bestimmten Schadensverlaufs (Versagen des Drywall und Sprühsystems) bei Jod bis zu 60 %, bei Cäsium bis 35 % und bei Strontium bis zu 13 %. Insgesamt erscheint es auch hier vertretbar, von der gesamten Bandbreite der oben zitierten Freisetzungsraten auszugehen.

(4) Die aus den genannten Quelltermen resultierende **Kollektivdosis** für die Bevölkerung im exponierten Raum ist von einer ganzen Reihe von Faktoren abhängig:

- dem radioaktiven Inventar der jeweiligen Anlage
- dem Quellterm des Unfalls (massgeblich sind längerlebige Isotope von Cäsium und Strontium, bei höheren Freisetzungen von Aktiniden auch deren langlebige Isotope)
- der Freisetzungshöhe (der Graphitbrand in Tschernobyl hat z.B. den Transport über sehr grosse Entfernungen begünstigt, die Belastungen der näheren Umgebung wurden dadurch geringer)
- den meteorologischen Verhältnissen (bei Inversionswetterlagen oder Niederschlägen treten z.B. höhere Expositionen und Kontaminationen auf)
- der Bevölkerungsdichte
- den getroffenen Massnahmen zur Dosisreduzierung (insbesondere Evakuierung, Umsiedlung, Verzehrverbote, Ausgabe von Jodtabletten, Aufforderung zum Verbleib in geschlossenen Räumen)

- der Nutzung der betroffenen Gebiete (z.B. für die Nahrungsmittelproduktion)
- der Jahreszeit (bei einem Unfall im Winter sind kurzlebige Radionuklide wie Jod-131 bis zur neuen Wachstumsperiode grösstenteils abgeklungen).

Genauere Ausbreitungsrechnungen für Unfälle in schweizerischen Kernkraftwerken konnten in der vorliegenden Untersuchung nicht durchgeführt werden. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass austretende Radioaktivität bei den gegebenen durchschnittlichen Windverhältnissen vor allem in Richtung Ost wirksam wird.

Für die weiteren Berechnungen werden die Relationen des Quellterms und der gemessenen Kollektivdosis im europäischen Teil der ehemaligen UdSSR und im "Restgebiet" Europas aus dem Tschernobyl-Unfall als Hinweis genutzt. Gemessen an der besonders relevanten Nuklidgruppe Cäsium betrug der Quellterm in Tschernobyl 10 - 43 % des Inventars (Mittelwert 27 %, vgl. Tabelle 3). Als Kollektivdosis wurden für den europäischen Teil der Sowjetunion 370.000 Personen-Sv (bei einer Bevölkerungsdichte von 34 E/qkm) und für den Restraum Europas 630.000 Personen-Sv (bei einer Bevölkerungsdichte von 103 Einwohner/qkm) angenommen.

Eine unmittelbare Übertragung dieser Werte ist selbstverständlich nicht möglich.

- Das radioaktive Inventar eines Reaktors nimmt mit Leistung und Abbrand des Reaktors zu. In ausreichender Näherung kann das Inventar jeweils auf die elektrische Leistung bezogen werden. Der Reaktor in Tschernobyl hatte eine elektrische Leistung von 1.000 MW.
- Die Tschernobyl-Katastrophe beschreibt den Fall eines Unfalls mit grossen Freisetzungsraten (bei Cäsium im Mittel der Schätzungen 27 % des Inventars). Gemäss Tabelle 4 sind aber auch andere (kleinere und grössere) Quellterme zu untersuchen.
- Die Kollektivdosis steigt vor allem mit einer höheren Freisetzung von Cäsium und Strontium.
- Die Bevölkerungsdichte in dem wahrscheinlichen Integrationsgebiet von Unfällen in schweizerischen KKW ist höher.
- Die, wegen der bei schweizerischen Anlagen entfallenden Thermik des Graphitbrandes in Tschernobyl niedrigeren Freisetzungsraten, führen zu höheren Belastungen in kleinen und mittleren Entfernungen. Alle Anlagen sind so gelegen, dass sich die Belastung auf das schweizerische Mittelland und ggf. auf Gebiete des angrenzenden Auslands beziehen

könnte. Alternativ wird hier angenommen, dass in einem **Ausbreitungsfall 1** die nördlichen Kantone der Schweiz und die grenznahen Kreise der Bundesrepublik (Waldshut, Konstanz, Bodenseekreis) mit einer gesamten durchschnittlichen Bevölkerungsdichte von 230 E/qkm betroffen wären. Der **Ausbreitungsfall 2** bezieht ein grösseres Areal mit den südlichen Regierungsbezirken der Bundesrepublik, Westösterreich und Tschechien mit ein. Dieses Gebiet weist einschliesslich der in der Schweiz betroffenen Räume eine durchschnittliche Bevölkerungsdichte von 140 E/qkm auf.

- Durch Inversionswetterlagen oder Niederschläge können höhere Expositionen und Kontamination in kleineren Entfernungen auftreten. Hier liegt die Bevölkerungsdichte weit höher und kann Werte deutlich über 300 E/qkm annehmen. Dieser Ausbreitungsfall wird hier allerdings nicht weiter verfolgt.
- Umgekehrt können Dosisreduzierungen z.B. durch Evakuierung, Umsiedlung, Verzehrsverbote, Ausgabe von Jodtabletten, Verbleib in geschlossenen Räumen erreicht werden. Eine Quantifizierung ist hier jedoch nicht möglich.

(5) Mangels genauer Schweiz-spezifischer Ausbreitungsrechnungen sind trotz dieser Unsicherheitsfaktoren Berechnungen mit Analogieschlüssen zur Tschernobyl-Katastrophe der einzig gangbare Weg. Verstärkte Forschungsaktivitäten sind hier aber dringend erforderlich. Die folgende Tabelle 5 fasst die notwendigen Berechnungen für die Bestimmung der Kollektivdosen bei alternativen Quelltermen zusammen. Der Rechengang ist **beispielhaft** für einen Quellterm mit einer mittleren Freisetzung von Cäsium von 5 % im KKW Mühleberg wie folgt:

- Zunächst gilt es die Leistungsklasse der Anlage mit 320 MW<sub>el</sub> durch einen Faktor 0,32 zu berücksichtigen.
- Der Quellterm 5 % entspricht in Bezug auf Cäsium einem Wert von 0,185 des als mittlere Freisetzung für Tschernobyl geschätzten Wertes von 27 %.
- Bei einer geschätzten Kollektivdosis aus der Tschernobyl-Havarie von insgesamt 1 Mio Personen-Sv resultiert aus diesen Faktoren **ceteris-paribus** eine Kollektivdosis von 1 Mio \* 0,32 \* 0,185 = 0,0592 Mio = 59.200 Personen-Sv.
- Die Kollektivdosis aus Tschernobyl bezog sich zu 0,37 Mio Personen-Sv auf ein Gebiet mit einer Bevölkerungsdichte von 34 E/qkm und zu 0,63 Mio Personen-Sv auf ein Gebiet mit 103 E/qkm. Im Ausbreitungsfall 1 für schweizerische KKW liegt dieser Wert bei 230

E/qkm, im Fall 2 bei 140 E/qkm. Im Fall 1 ist im Ergebnis eine Multiplikation mit 3,9 und im Fall 2 mit 2,4 vorzunehmen. Die Kollektivdosen lauten dann

Ausbreitungsfall 1  $59.200 \times 3,9 = 230.880$  Personen-Sv

Ausbreitungsfall 2  $59.200 \times 2,4 = 142.080$  Personen-Sv.

Tabelle 5 zeigt für alle schweizerischen Anlagen eine sehr grosse Bandbreite möglicher Kollektivdosen auf. Diese Bandbreite ist zum einen Folge des Analyseansatzes selbst, der letztlich versucht, eine Vielzahl unterschiedlicher Schadensabläufe zu integrieren. Sie ist aber auch Ausdruck der **erheblichen Unsicherheiten, die sowohl bei der Quantifizierung der Quellterme selbst als auch der daraus resultierenden Kollektivdosen besteht**. Wie erwähnt, sind Quellterme mit Freisetzungsraten von bis zu 90 % bei Jod und Cäsium denkbar. Ebenso sind "Ausbreitungsszenarien" denkbar, die eine niedrigere Kollektivdosis (bei sehr grossflächiger Ausbreitung in relativ dünn besiedelte Gebiete), aber auch eine deutlich höhere Dosis (bei kleinräumiger Kontamination im dicht besiedelten "Nahraum" der Anlagen) mit sich bringen könnten. **Bei den nachfolgenden Schadensberechnungen müssen diese Unsicherheiten stets mitberücksichtigt werden. Es sind ohne weiteres Abweichungen von einer Zehnerpotenz nach oben, aber auch nach unten möglich.**

**Tabelle 5: Kollektivdosen bei alternativen Quelltermen in schweizerischen KKW**

Quellterme mit Frei- setzungsraten von Cäsium (Mittelwert in %)	Faktor gegenüber Tschernobyl (27 %)	Kollektivdosis in Personen-Sv	
		Fall 1	Fall 2
<b>Mühleberg (Leistungsfaktor: 0,32)</b>		Fall 1	Fall 2
0,0005	0,000019	23	14
0,5	0,0185	23.111	14.222
5	0,185	231.111	142.222
15	0,556	693.333	426.667
30	1,111	1.386.667	853.333
70	2,59	3.235.556	1.991.111
<b>Beznau I und II (Leistungsfaktor 0,35)</b>		Fall 1	Fall 2
0,0005	0,000019	25	16
0,5	0,0185	25.278	15.556
5	0,185	252.778	155.556
15	0,556	758.333	466.667
30	1,111	1.516.667	933.333
70	2,59	3.538.889	2.177.778
<b>Gösgen (Leistungsfaktor 0,94)</b>		Fall 1	Fall 2
0,0005	0,000019	68	42
0,5	0,0185	67.889	41.778
5	0,185	678.889	417.778
15	0,556	2.036.667	1.253.333
30	1,111	4.073.333	2.506.667
70	2,59	9.504.444	5.848.889
<b>Leibstadt (Leistungsfaktor 0,99)</b>		Fall 1	Fall 2
0,0005	0,000019	71	44
0,5	0,0185	71.500	44.000
5	0,185	715.000	440.000
15	0,556	2.145.000	1.320.000
30	1,111	4.290.000	2.640.000
70	2,59	10.010.000	6.160.000

### 2.3.2 Quantifizierung und Monetarisierung der externen Kosten

(1) Die nachfolgenden Berechnungen erfassen die **Gesundheitsschäden und Sachschäden** möglicher Kernschmelzunfälle. Für die Bewertung wurden Annahmen zu 3 Kostenkategorien getroffen.

- Die Bewertung der **Mortalität und Morbidität** erfasst unter Verwendung der ermittelten Kollektivdosen und Annahmen zur Dosis-Wirkungsbeziehung neben Sofortschäden auch die gesundheitlichen **Spätfolgen** im Gesamtgebiet der Kontamination.
- In einem Gebiet von bis zu 50 km Radius (je nach Größe des Quellterms) um die betreffende Anlage wird für mindestens 5 Jahre jegliche wirtschaftliche Nutzung der ökonomischen Infrastruktur unmöglich. Weitere 5 Jahre wird eine ökonomische Beeinträchtigung von 50 % angesetzt. Produktionsverluste in Regionen, die ausserhalb des definierten Gebietes auftreten könnten, werden nicht berücksichtigt.

Über das definierte Gebiet hinaus werden in Anlehnung an die Schätzungen von Ottinger die Schäden durch Verluste in der Agrarproduktion erfasst.

Auf eine Bestimmung der Kosten für allfällige **Evakuierungen** muss mangels genauer Daten verzichtet werden. Nicht quantifizierbar sind auch Schäden, die in der **Pflanzen- und Tierwelt** wahrscheinlich wären, sowie **immaterielle Schäden**.

(2) Erhebliche empirische Unsicherheiten bestehen, wie bereits in Kapitel 1 dargestellt, bei der Bestimmung der **Dosis-Wirkungsbeziehung** im Zusammenhang mit Krebserkrankungen.

So lässt sich im Einzelfall nicht immer nachweisen, ob z.B. Krebsgeschwulste auf radioaktiven Fallout oder auf andere Umwelteinflüsse (Ernährung, Abgase, Nikotin, Einflüsse am Arbeitsplatz usw.) zurückzuführen ist. Es lässt sich also vielfach kein Zusammenhang zwischen dem schädigenden Ereignis und dem eingetretenen Schaden nachweisen. Da schon heute 20 Prozent der Bevölkerung an Krebs stirbt, ist eine erhöhte Krebssterblichkeit selbst nach der Katastrophe von Tschernobyl epidemiologisch kaum zu erfassen. Im Einzelfall ist es möglich, dass erst ein Zusammentreffen mehrerer Krebsrisiken zu einer Erkrankung führt. Der Schaden lässt sich weder in sachlicher noch in zeitlicher Hinsicht abgrenzen. Noch heute sterben Atombombenopfer an den Folgen der Abwürfe auf Hiroshima und Nagasaki /Schmidt, 1991/. Erkrankun-

gen aufgrund radioaktiver Strahlen können noch Jahrzehnte später auftreten, möglicherweise in Form einer Immunschwäche, die der Körper ohne zusätzliche Belastung verkraftet hätte.

Frühere Schätzungen gingen von relativ niedrigen Erkrankungsraten aus. Schmitz-Feuerhake (1981) führt z.B. auf

	Krebstote je 10.000 Personen-Sv
- ICRP Nr. 26, 1977	100
- UNSCEAR 1977	100 - 300
- BEIR 1972	90 - 450
- Baum 1977	160 - 560
- Schmitz-Feuerhake	150 - 750

Eine Neubewertung der Radioaktivitätsdosimetrie der Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki führte in wissenschaftlichen Diskussionen zu wesentlich höheren Werten. Schmitz-Feuerhake (1988) zitiert hier

	Krebstote je 10.000 Personen-Sv
- Redford 1980	220 - 1.620
- Bertell 1984	360 - 2.100
- Radiation Effects Research Foundation (RERF) 1987	580 - 1.740

Die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP, verwendet heute als "amtlichen" Risikokoeffizienten 500 tödliche Strahlenkrebsschäden, 100 nicht-tödliche Krebsfälle und 130 schwere Erbschäden je 10.000 Personen-Sv /ICRP, 1990/. Die US-amerikanische Akademie der Wissenschaften geht von einem Wert von 770 Krebschäden je Million Personen-rem aus. Die Internationale Atomenergiebehörde wies in ihren vorläufigen Untersuchungen zu den Folgen von Tschernobyl niedrigere Werte aus /IAEA, 1991/, die aber wohl angesichts der Informationslage nicht als gesichert angesehen werden können. Neuere Erkenntnisse über Schilddrüsenkrebs bei Kindern in Belorussland nach einer nicht erwarteten kurzen Zeit von wenigen Jahren lassen vermuten, dass auch die ICRP-Werte eher zu niedrig liegen. Die amerikanisch-japanische RERF hält z.B. einen Wert für möglich, der um das 3,5-fache höher liegt. Auch Schmitz-Feuerhake argumentiert, dass eher doppelt so hohe Risikokoeffizienten wahrscheinlich seien /Schmitz-Feuerhake 1992/. Wir kommen auf diesen Sachverhalt nochmals zurück.

Die nachfolgenden Berechnungen in Tabelle 6 basieren auf den "amtlichen" Werten der ICRP. Die Tabelle zeigt, dass Schadensabläufe mit bis zu einer halben Million Toten nicht ausgeschlossen werden können.

**Tabelle 6: Mortalitäts- und Morbiditätsfälle bei Kernschmelzunfällen**

Quellterm mit Freisetzungsraten von Cäsium	Ausbreitungsfall 1		Ausbreitungsfall 2	
	Mortalitätsfälle	Morbiditätsfälle	Mortalitätsfälle	Morbiditätsfälle
<b>Mühleberg</b>				
0,0005 %	1	1	1	0
0,5 %	1.156	532	711	327
5 %	11.556	5.316	7.111	3.271
15 %	34.667	15.947	21.333	9.813
30 %	69.333	31.893	42.667	19.627
70 %	161.778	74.418	99.556	45.796
<b>Beznau I und II</b>				
0,0005 %	1	1	1	0
0,5 %	1.264	581	778	358
5 %	12.369	5.814	7.778	3.578
15 %	37.917	17.442	23.333	10.773
30 %	75.833	34.883	46.667	21.467
70 %	176.944	81.394	108.889	50.089
<b>Gösgen</b>				
0,0005 %	3	2	2	1
0,5 %	3.394	1.561	2.089	961
5 %	33.944	15.614	20.889	9.609
15 %	101.833	46.843	62.667	28.827
30 %	203.667	93.687	125.333	57.653
70 %	475.222	218.602	292.444	134.524
<b>Leibstadt</b>				
0,0005 %	4	2	2	1
0,5 %	3.575	1.644	2.200	1.012
5 %	35.750	16.445	22.000	10.120
15 %	107.250	49.335	66.000	30.360
30 %	214.500	98.670	132.000	60.720
70 %	500.500	230.230	308.000	141.680

Für die **Monetarisierung** wird auf die Bewertungen der Hedonistischen Preisanalyse zurückgegriffen ("Kosten" eines Menschenlebens 5,5 Mio Fr, siehe S. 24 f). Da für Morbiditätsfälle keine Angaben zur Zahlungsbereitschaft vorlagen, müssen hier die Ansätze der Human-Capital-

Methode verwendet werden. Pro nicht-tödlichem Krebsfall und pro Erbschadensfall wird ein "Produktionsausfall" von 10 Jahren unterstellt; bei einem Jahreseinkommen von 59.000 Fr ergeben sich Kosten von 590.000 Fr. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 7. Erneut sei hervorgehoben, dass auch der genannte Wert von 5,5 Mio Fr als konservativ einzuschätzen ist. Die auf Seite 24 und 25 erwähnten Bandbreiten in der Literatur zeigen, dass auch Werte ermittelt wurden, die um das über 3-fache höher, aber auch deutlich darunter liegen können.

**Tabelle 7: Monetarisierter Schäden durch Mortalität und Morbidität**

Quellterm mit Freisetzungsraten von Cäsium	Ausbreitungsfall 1 Mio Fr	Ausbreitungsfall 2 Mio Fr
<b>Mühleberg</b>		
0,0005 %	7	4
0,5 %	6.669	4.104
5 %	66.692	41.041
15 %	200.075	123.123
30 %	400.150	246.246
70 %	933.684	574.575
<b>Beznau I und II</b>		
0,0005 %	7	4
0,5 %	7.294	4.489
5 %	72.944	44.889
15 %	218.832	134.666
30 %	437.664	269.332
70 %	1.021.217	628.441
<b>Gösgen</b>		
0,0005 %	20	12
0,5 %	19.591	12.056
5 %	195.907	120.558
15 %	587.721	361.674
30 %	1.175.442	723.349
70 %	2.742.698	1.687.814
<b>Leibstadt</b>		
0,0005 %	21	13
0,5 %	20.633	12.697
5 %	206.328	126.971
15 %	618.983	380.912
30 %	1.237.965	761.825
70 %	2.888.586	1.777.591

(3) Die Berechnung der **Sachschäden** durch vollständigen **Produktivitätsverlust** im jeweils kontaminierten Gebiet zieht als Grundlage die durchschnittliche reale Pro-Kopf-Bruttowertschöpfung in der Schweiz heran (ca. 25.000 Fr je Einwohner und Jahr). Es wird angenommen, dass bei den ersten beiden in den Tabellen genannten Quelltermen (in der folgenden Übersicht als "Kategorie 1" ausgewiesen) keine Produktionsverluste auftreten. Bei den Quelltermen bis 15 % (Kategorie 2) beziehen sich die Angaben auf einen Radius von 20 km um die Anlage. Bei Quelltermen über 15 % wird der Radius auf 50 km erweitert. Die Bevölkerungsziffern in diesen Gebieten lauten

	Bevölkerung in 1.000	
	50-km-Zone	20-km-Zone
Beznau I/II, Leibstadt	2.875	388
Mühleberg	1.390	430
Gösgen	2.814	558

Unter den in Ziffer (1) des Abschnitts 2.3.2 getroffenen Annahmen resultieren hieraus im **Ausbreitungsfall 1** Produktionsverluste von

	Produktionsverluste Mrd Fr		
	Kategorie 1	Quellterme Kategorie 2	Kategorie 3
Beznau I/II, Leibstadt	0	72	539
Mühleberg	0	80	260
Gösgen	0	105	527

Für den **Ausbreitungsfall 2** wird auf diese Werte pauschal ein Abschlag von 40 % angewendet. Diese Werte können selbstverständlich nur als Näherungen und wohl auch nur als Untergrenze angesehen werden, da allfällige Evakuierungen, Produktionseinstellungen u.a. in jedem Einzelfall und je nach Variation der Ausbreitungsszenarien unterschiedlich zu bewerten wären.

(4) Hinzuzurechnen sind die **Verluste in der Landwirtschaft**, die auf der Basis der Schätzungen von Ottinger (im Mittel etwa 70 Mrd Fr für den Tschernobyl-Fall) und unter Beachtung der unterschiedlichen Quellterme im Ausbreitungsfall 1 zwischen 0 - 60 Mrd Fr für die kleineren Reaktoren und 0 - 180 Mrd Fr für die beiden grossen Reaktoren liegen. Auch hier wurde für den Ausbreitungsfall 2 ein Abschlag von 40 % vorgenommen. Tabelle 8 zeigt die einzelnen Werte.

**Tabelle 8: Produktionsverluste in der Landwirtschaft**

Quellterm mit Freisetzungsraten von Cäsium	Ausbreitungsfall 1 Mio Fr	Ausbreitungsfall 2 Mio Fr
<b>Mühleberg</b>		
0,0005 %	0	0
0,5 %	415	249
5 %	4.148	2.489
15 %	12.444	7.467
30 %	24.889	14.933
70 %	58.074	34.844
<b>Beznau I und II</b>		
0,0005 %	0	0
0,5 %	454	272
5 %	4.537	2.722
15 %	13.611	8.167
30 %	27.222	16.333
70 %	63.519	38.111
<b>Gösgen</b>		
0,0005 %	1	1
0,5 %	1.219	731
5 %	12.185	7.311
15 %	36.556	21.933
30 %	73.111	43.867
70 %	170.593	102.356
<b>Leibstadt</b>		
0,0005 %	1	1
0,5 %	1.283	770
5 %	12.833	7.700
15 %	38.500	23.100
30 %	77.000	46.200
70 %	179.667	107.800

(5) In Tabelle 9 sind die aufsummierten Werte für alle Schadenskategorien bei verschiedenen möglichen Schadensabläufen wiedergegeben. Auch dieses Gesamtergebnis zeigt eine enorme Bandbreite möglicher Schadensvolumina: Die Werte reichen von sehr kleinen Schäden von wenigen Mio Franken bis zu Grössenordnungen von mehreren Billionen Franken. Maximalschäden der hier ausgewiesenen Höhe machen das 5- bis 10-fache des realen Brutto-

sozialprodukts (80er Preise) der Schweiz aus und würden somit die volkswirtschaftlichen Möglichkeiten auch einer reichen Industrienation bei weitem überschreiten.

Nochmals soll auf die **erheblichen Unsicherheiten** bei den Eingangsannahmen hingewiesen werden.

- Die Quellterme werden in den Berechnungen durch die Nuklidgruppe Cäsium repräsentiert. Andere leichtflüchtige Nuklide, aber auch die Anteile schwerflüchtiger Nuklide können eine andere "Wirkungsstruktur" der Quellterme aufweisen.
- Die Umrechnung in Kollektivdosen konnte nur näherungsweise durch Anlehnung an die Quellterm-Dosis-Relationen der Tschernobyl-Katastrophe vorgenommen werden. Zahlreiche Faktoren, insbesondere die klimatischen Bedingungen jedes Einzelfalls können deutlich höhere oder niedrige Dosen bewirken.
- Die Dosis-Wirkungsbeziehungen sind umstritten. In der vorliegenden Untersuchung wurden Autoren zitiert, die die verwendeten Parameter als zu hoch bzw. eher als zu niedrig klassifizieren.
- Die monetäre Bewertung menschlichen Lebens und körperlicher Unversehrtheit ist äusserst problematisch. Auch hier sind erhebliche Bandbreiten bei den Schätzergebnissen zu verzeichnen.

**Insgesamt sind vor diesem Hintergrund die in Tabelle 9 dokumentierten Schadensvolumina stets nur als Orientierungswerte zu interpretieren. Wie bereits weiter oben betont, sind insbesondere in den extrem hohen Schadensklassen ohne weiteres dramatische Abweichungen nach unten, aber auch nach oben nicht ausgeschlossen. Quellterm und Kollektivdosis können um einen Faktor 10 kleiner oder grösser ausfallen. Bei den Dosis-Wirkungsbeziehungen wird ein Faktor von 3,5 nach oben nicht ausgeschlossen. Die monetäre Bewertung des (zumindest für Teile der Gesellschaft) unfreiwilligen Todesrisikos zeigt nochmals einen Faktor von mindestens 3 nach oben und unten. Angesichts dieser Unsicherheitsspielräume sind insbesondere die für die hohen Schadenskategorien genannten Beträge von mehreren Billionen Franken nur als Anhaltspunkt dafür zu verstehen, in welchen Dimensionen die Diskussion um die möglichen Folgen eines grossen Kernschmelzunfalls anzusiedeln ist. Ob 3 oder 30 Billionen Franken: Es handelt sich in jedem Fall um Grössenordnungen, die unser Vorstellungsvermögen überschreiten.**

In diesem Zusammenhang ist auch zu beachten, dass Tabelle 9 nur relativ "leicht" fassbare Schadenskategorien wie Tod, Produktionsausfälle etc. berücksichtigt. Grossunfälle der hier

angenommenen Art können aber insgesamt die Grenzen des "Regulierungssystems Volkswirtschaft und Gesellschaft" überschreiten und alle Lebensbereiche der schweizerischen Bevölkerung schwer in Mitleidenschaft ziehen. Die Schadenspotentiale solcher Auswirkungen lassen sich in ihrer ganzen psychischen und sozialen Tragweite a priori nicht monetarisieren. Das Bewertungsinstrument "Monetarisierung" hat damit natürlich stets einen Mangel. Nämlich den, dass es implizit Schadenspotentiale der genannten Art mit Null Franken in die Rechnung einstellen muss.

**Tabelle 9: Gesamtschäden ausgewählter KKW-Unfälle (in Mio Fr)**

Quellterme mit Freisetzungsraten von Cäsium (Mittelwert in %)	Ausbreitungsfall 1	Ausbreitungsfall 2
<b>Mühleberg</b>		
0,0005	7	4
0,5	7.084	4.353
5	151.465	91.905
15	293.145	178.965
30	685.664	417.555
70	1.252.383	765.794
<b>Beznau I und II</b>		
0,0005	8	5
0,5	7.748	4.761
5	150.231	91.261
15	305.193	186.483
30	1.003.949	609.103
70	1.623.798	989.990
<b>Gösgen</b>		
0,0005	21	13
0,5	20.809	12.787
5	312.717	190.644
15	728.901	446.383
30	1.776.178	1.083.790
70	3.440.915	2.106.744
<b>Leibstadt</b>		
0,0005	22	13
0,5	21.916	13.467
5	291.911	178.321
15	730.233	447.662
30	1.854.028	1.131.462
70	3.607.315	2.208.829

(6) Erhebliche Unsicherheiten bestehen auch in einem zweiten Komplex der Monetarisierungsoperationen: der **Eintrittswahrscheinlichkeit** eines oder mehrerer der in der vorhergehenden Darstellung angenommenen Schadensfälle. Eine konsequente Monetarisierung kann nicht bei der Bestimmung der absoluten Schadenshöhe halt machen, sondern muss zunächst um die Bestimmung des sogenannten **Erwartungswerts** (als multiplikative Verknüpfung von Schadensausmass und Unfallwahrscheinlichkeit) ergänzt werden. Im Fall von Reaktorunfällen können, wie gezeigt, beide Faktoren extreme Werte annehmen: Das Schadensausmass kann ausserordentlich hoch sein, die Wahrscheinlichkeit ausserordentlich niedrig, so dass im Ergebnis bei Berechnung der Erwartungswerte ein völlig anderes, eher "beruhigendes" Bild der Schadensbewertung entsteht. Da dieses Bild aber insbesondere in Bezug auf die Einschätzung des **Risikos** für sich allein irreführend ist, muss die Analyse um statistische Masse für die **Streuung der Schadensverteilung** ergänzt werden.

Über den Wert der Eintrittswahrscheinlichkeiten und die Belastbarkeit von probabilistischen Analysen gibt es in der Literatur erheblichen Streit. Die totale Kernschadenshäufigkeit wurde in früheren Jahren für die ersten kommerziellen US-amerikanischen Reaktoren von der Nuclear Regulatory Commission mit 1 : 3.333 Reaktorbetriebsjahren angegeben. Die DRS-Phase-B-Studie kommt für Biblis, wie erwähnt, zu einer totalen Schadenshäufigkeit von 1 : 34.500 Betriebsjahren. Unter Berücksichtigung von anlageninternen Notfallmassnahmen und der Annahme der DRS-Studie, dass diese Massnahmen zu 90 % erfolgreich sind, sinkt hier die Eintrittswahrscheinlichkeit auf 1 : 280.000. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten für Mühleberg, wie sie die HSK ermittelt hat, sind in Tabelle 4 dokumentiert.

Verschiedene Autoren weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die in Risikoanalysen verwendeten Werte nicht als **absolutes** Mass für die tatsächlich bestehenden Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Ereignisse dienen können, sondern ihren Wert vor allem als **vergleichende** Zuverlässigkeitsanalyse für eine verbesserte Auslegung komplexer technischer Systeme entfalten. Tatsächlich handelt es sich hier um einen Bereich ingenieurwissenschaftlich-logistischer Planung, in dem das probabilistische Risikokonzept zum Zweck einer sicherheitstechnisch verbesserten Systemauslegung erfolgreich angewandt werden kann .... Hier werden, anders als bei Risikoanalysen mit Anspruch auf **absolute** Gültigkeit der ermittelten Risikozahlen, vergleichsweise überschaubare Teilsysteme auf ihre Ausfallwahrscheinlichkeit hin untersucht und die gewonnenen probabilistischen Risikozahlen ... relativ zueinander bewertet. /Kollert, 1993/. Die so ermittelten Systemzuverlässigkeitswerte haben auch dann noch eine **relative** Gültigkeit, wenn andere mögliche Schadensabläufe nicht erfasst werden.

Im Zusammenhang mit einer Bewertung des KKW Beznau führte die HSK 1987 aus "Die Zielsetzung (der Risikostudie, Anm. d. Verf.) war, eventuelle Schwachstellen in der Anlage zu identifizieren. Risikostudien eignen sich vor allem deshalb dazu, weil sich mit dieser Methode die re-

lativen Risikobeiträge einzelner Schwachstellen mit ausreichender Genauigkeit berechnen lassen. Die absoluten Wahrscheinlichkeitswerte werden jedoch von Fachleuten nur mit Vorbehalt verwendet, weil Art und Umfang von Risikostudien grosse Unterschiede aufweisen können. Ihr Ergebnis kann daher nicht als absolutes Mass für die Sicherheit betrachtet werden". /HSK, 1987/. Im gleichen Sinne äussert sich die deutsche Gesellschaft für Reaktorsicherheit.

Die HSK hat in der Zwischenzeit zwar ausgeführt, dass heute nach Überprüfung der die schweizerischen Anlagen betreffenden Studien durch die HSK den Wahrscheinlichkeiten sehr viel grösseres Gewicht geschenkt werden könne. /HSK, 1993/. Dennoch erscheint die alleinige Verwendung der erwähnten Wahrscheinlichkeitswerte als problematisch, weil wesentliche Schwachstellen der Risikoanalyse grundsätzlich nicht ausgeräumt werden können. Hauptunsicherheitsfaktor dürfte dabei die Unmöglichkeit sein, tatsächlich **alle** denkbaren Ereignisabläufe erfassen zu können. Hier spielen die Fragen

- der vollständigen Erfassung menschlichen (Fehl-)Verhaltens (Mensch-Maschine-Kommunikation),
- der Vorhersage von Systemreaktionen nach Fehlereinwirkung mit vernetzten Folgen,
- der Einwirkung Dritter und/oder Sabotage,
- unentdeckter Fabrikationsmängel

eine Rolle. Sabotageeinwirkungen z.B. lassen sich a priori nicht probabilistisch bewerten. Auf die auch von Fachleuten eingeräumten grossen Unsicherheiten bei der Systemreaktionsvorhersage wurde bereits weiter oben eingegangen.

Angesichts dieses Sachverhalts erscheint es angemessen, nicht allein die probabilistische Bewertung der HSK (vgl. Tab. 4), sondern eine Bandbreite von Wahrscheinlichkeiten zu verwenden, die auch die Möglichkeit höherer Eintrittswahrscheinlichkeiten einschliesst. In den nachfolgenden Berechnungen wird deshalb neben den HSK-Werten zusätzlich eine Variante "Höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten" berücksichtigt:

Quellterm (Cäsium in % des Inventars)	Eintrittswahrscheinlichkeit (Ereignis in x Betriebsjahren)
0.0005	1 : 10.000
0.5	1 : 50.000
5	1 : 150.000
15	1 : 300.000
30	1 : 1.000.000
70	1 : 1.000.000

(7) Für die Bewertung der in Tabelle 9 dokumentierten Schadenspotentiale verschiedener Ereignisabläufe liegt es, wie erwähnt, nahe, zunächst zu versuchen, die Schadenshöhe dieser Ereignisse mit deren Eintrittswahrscheinlichkeit zu gewichten und aufzusummieren. Hieraus ergeben sich Erwartungswerte von Wahrscheinlichkeitsverteilungen in bezug auf die Schadenshöhe. Tabelle 10 fasst die Ergebnisse für die einzelnen Kraftwerke zusammen. Es zeigt sich, dass je nach Szenario der Eintrittswahrscheinlichkeiten und je nach Art der Ausbreitungsszenarien die Erwartungswerte zwischen 35.000 Fr/a und 4 Mio Fr/a (Mühleberg) bzw. 88.000 Fr/a und 10,2 Mio F/a (Leibstadt) schwanken. Die Summe der Erwartungswerte für den gesamten KKW-Park beläuft sich auf 250.000 Fr/a bis 34 Mio Fr/a.

Abgesehen von der erheblichen Bandbreite der Berechnungen erscheint der Erwartungswert zwar sehr plausibel und wird oft auch als das "objektive" Mass für eine Schadensbewertung angesehen. Jedoch wird auch klar, dass mit solchen mathematischen Operationen das wahre Ausmass der **möglichen Schäden** nicht zum Ausdruck kommt. Der Erwartungswert, berechnet mit wie auch immer abgeleiteten Wahrscheinlichkeiten, ist eine rein statistische Grösse, die nichts darüber aussagen kann, wann tatsächlich ein Unfall eintritt. Dies kann in einem Jahr, aber auch erst im 10.000sten oder 100.000sten Betriebsjahr der Fall sein. Erwartungswerte "verteilen" dabei, bildlich gesprochen, das Ausmass des Schadens auf den Gesamtzeitraum, in dem der Schaden mit einiger Sicherheit eintreten wird (z.B. 1 Millionen Betriebsjahre).

Offensichtlich ist diese Bestimmung eines "objektiven" Schadensmasses und die Konzentration allein auf einen solchen Parameter angesichts der in der Realität zu beobachtenden tatsächlichen Risikobewertung durch eine Vielzahl von Menschen unzureichend.

Zahlreiche empirische Untersuchungen zeigen, dass in Entscheidungssituationen, die mit einem Risiko - oder positiv gewendet: mit einer Chance - verbunden sind, die Entscheidungsträger zwar den Erwartungswert im Auge haben, gleichzeitig aber je nach Sicherheitspräferenz auch das Risiko- bzw. Chancenpotential mit in die Bewertung einbeziehen. Anders ist z.B. nicht zu erklären, dass sich viele Menschen trotz negativer durchschnittlicher Gewinnerwartung (Erwartungswerte) an Glücksspielen wie Lotto oder Roulette beteiligen. Ebenso müsste unklar bleiben, warum trotz überwälzter Verwaltungskosten und Gewinnanteile überhaupt Versicherungsverträge abgeschlossen werden. Im ersten Fall sind die Entscheidungsträger offensichtlich "risikofreudig", im zweiten Fall "risikoscheu".

**Tabelle 10: Erwartungswerte der Schadenskosten**

	Niedrige Eintrittswahrscheinlichkeiten		Höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten	
	Ausbreitungsfall 1	Ausbreitungsfall 2	Ausbreitungsfall 1	Ausbreitungsfall 2
	in 1000 Fr. pro Jahr			
<b>Mühleberg</b>	0,04	0,02	0,71	0,44
	7,08	4,35	141,68	87,06
	19,69	11,95	1009,77	612,70
	11,73	7,16	977,15	596,55
	6,86	4,18	685,66	417,55
	12,52	7,66	1252,38	765,79
<b>Summe der Erwartungswerte</b>	<b>57,92</b>	<b>35,31</b>	<b>4067,35</b>	<b>2480,09</b>
<b>Beznau I und II</b>	0,04	0,02	0,77	0,48
	7,75	4,76	154,96	95,22
	19,53	11,86	1001,54	608,41
	12,21	7,46	1017,31	621,61
	10,04	6,09	1003,95	609,10
	16,24	9,90	1623,80	989,99
<b>Summe der Erwartungswerte</b>	<b>65,80</b>	<b>40,10</b>	<b>4802,34</b>	<b>2924,81</b>
<b>Gösgen</b>	0,04	0,06	2,08	1,28
	20,81	12,79	416,18	255,74
	40,65	24,78	2084,78	1270,96
	29,16	17,86	2429,67	1487,94
	17,76	10,48	1776,18	1083,79
	34,41	21,07	3440,92	2106,74
<b>Summe der Erwartungswerte</b>	<b>142,89</b>	<b>87,40</b>	<b>10.149,81</b>	<b>6206,46</b>
<b>Leibstadt</b>	0,11	0,07	2,19	1,35
	21,92	13,47	438,32	269,34
	37,95	23,18	1946,07	1188,81
	29,21	17,91	2434,11	1492,21
	18,54	11,31	1854,03	1131,46
	36,07	22,09	3607,31	2208,83
<b>Summe der Erwartungswerte</b>	<b>143,80</b>	<b>88,03</b>	<b>10.282,04</b>	<b>6291,99</b>

Ein rational handelndes Individuum wird also neben den Erwartungswert auch die **mögliche Streuung der Schadenshöhe** ins Kalkül ziehen, es wird eine **Risikobewertung** vornehmen. Ein mögliches statistisches Mass für dieses "Risiko" ist die sogenannte **Standardabweichung der Wahrscheinlichkeitsverteilung** von bestimmten Schadenshöhen. Anschaulich gesprochen handelt es sich bei der Standardabweichung um ein Mass, das in der Lage ist, die "mittlere" Streubreite der Schadensvolumina einzelner Gruppen von Quelltermen um den Erwartungswert zu quantifizieren. Mathematisch ist die Standardabweichung  $s$  bestimmt durch

$$s = \sqrt{\sum (X_j - E)^2 P_j}$$

wobei  $X_j$  das Schadensmass eines Ereignisses  $j$ ,  $E$  den Erwartungswert der Gesamtheit möglicher Ereignisse und  $P_j$  die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis  $j$  bezeichnen.

Durch die Kombination von Erwartungswert und Standardabweichung lässt sich ein in der Entscheidungstheorie bedeutsames Prinzip ableiten. Dieses sogenannte Erwartungswert-Standardabweichungs-Prinzip ist im Gegensatz zum reinen Erwartungswertprinzip in der Lage, die **Risikofreude** bzw. die **Risikoscheu** der Entscheidungsträger widerzuspiegeln. Risikobewusste Menschen werden neben dem Erwartungswert dem Kriterium Standardabweichung ein hohes Gewicht beimessen. Risikoneutrale Menschen werden dagegen dem Risiko eine geringe oder gar keine Beachtung schenken und nur den durchschnittlichen erwarteten Schaden, den Erwartungswert in den Vordergrund stellen.

Seinen vollen operationalen Nutzen entfaltet das Erwartungswert-Standardabweichungs-Prinzip vor allem dann, wenn es um Situationen geht, in denen ein Entscheidungsträger - sei es ein Individuum oder z.B. ein Unternehmen - die Möglichkeit der **Wahl** zwischen verschiedenen unterschiedlich risikobehafteten Alternativen hat. Typischerweise hat deshalb in der Praxis das Erwartungswert-Standardabweichungs-Prinzip vor allem als Bewertungsinstrument bei Portfolio-Entscheidungen und generell bei Investitionsentscheidungen grosse Bedeutung erlangt. Investoren stehen hier vor der Aufgabe, je nach Art ihrer **subjektiven Sicherheitspräferenz** abzuwägen, ob sie risikoreiche oder risikolose Anlagenwerte in ihr Portefeuille aufnehmen oder sich in mehr oder weniger riskanten Investitionsvorhaben engagieren sollen.

Der Hinweis auf den subjektiven Charakter der hier erforderlichen Präferenzbildung ist insofern besonders wichtig, als Kritiker des vorgestellten Bewertungsinstruments in diesem Tatbestand ein Element der Irrationalität sehen, das eine "objektive" Entscheidung eher behindern als fördern würde. Diese Kritik ist nicht berechtigt. Dass Menschen vor dem Hintergrund eines äusserst komplexen Netzwerks von individuellen und sozialen Einflussfaktoren unterschiedliche Einstellungen zu risikobehafteten Aktivitäten oder Ereignissen haben, ist unbestreitbar. Wenn

diese Einstellungen in das Entscheidungskalkül mit einbezogen werden, ist dies zwar subjektiv geprägt, aber gleichzeitig in hohem Masse rational.

Das Erwartungswert-Standardabweichungs-Prinzip ist methodisch abzugrenzen gegen ein anspruchsvolleres, weiter gefasstes Konzept, das versucht, den analytischen "Umweg" über ein mathematisch vordefiniertes Mass des Risikos in Form der statistisch ermittelten Standardabweichung zu vermeiden. Dieses Konzept geht davon aus, dass ein rationaler Entscheidungsträger jeder quantitativen Ausprägung von Ereignissen eine **Nutzengröße** zuordnen wird (wobei in diese Zuordnung unmittelbar auch Risikoeinstellungen eingehen), dass also **Risikonutzenfunktionen**

$$U = f(X)$$

bestimmt werden können, die dann für die weiteren "Entscheidungsprozesse bei Risiko" zugrundegelegt werden.

Die theoretischen Grundlagen für diese Ansätze - Erwartungsnutzentheorie und Spiel- und Entscheidungstheorie - wurden bereits in den vierziger Jahren gelegt (bahnbrechend /von Neumann, Morgenstern, 1944/). Während diese Arbeiten sich zunächst auf gleichsam normative Modelle stützten, richtete sich das Interesse der Forschung alsbald auf die Frage nach der **empirischen Bestimmung** der oben angesprochenen Risikonutzenfunktionen. Die Literatur zu diesem Fragenkomplex ist in der Zwischenzeit kaum noch zu überblicken (beispielhaft seien genannt /Starr, 1969; Kahneman und Tversky, 1979; Slovic et al., 1982/). Ein Resümee fällt dementsprechend schwer.

Generell ist festzustellen, dass die Risikobewertung und/oder Risikoakzeptanz von zahlreichen individuellen, kollektiven, soziokulturellen und politischen Faktoren abhängen. Wichtige Parameter im hier interessierenden Kontext sind z.B. /Pedroni und Zweifel, 1988/:

- **Freiwilligkeit:** Unfreiwillige Risiken werden als gefährlicher eingestuft.
- **Vertrautheit:** Die Gewöhnung an ein Risiko vermindert angstbedingte Ablehnung.
- **Betroffenheit:** Die Möglichkeit einer Bedrohung zukünftiger Generationen erhöht die empfundene Schwere des Risikos.
- **Singularität:** Einzelereignisse mit einer sehr hohen Zahl von Opfern werden als höherer Schaden eingestuft als viele Ereignisse mit jeweils wenigen Opfern.

Aber auch Parameter wie Informiertheit oder Reparierbarkeit eines Schadens (siehe zusammenfassend hierzu /Covello, 1983; Fritzsche, 1986/) spielen eine Rolle. Wir werden auf diese Aspekte nochmals in Abschnitt 2.4 zurückkommen.

Insgesamt zeigt sich, dass es insbesondere wegen der Vielschichtigkeit der Ergebnisse psychologischer Risikoforschungen ausserordentlich schwer ist, einigermaßen einheitliche Risikomasse zu finden, die quantitativ in Risikonutzenfunktionen der oben erwähnten Art verdichtet werden könnten. Zwar ist zu erwarten, dass hier mit weiteren Verfeinerungen der bereits in Kapitel 1.3 angesprochenen Contingent Valuation Methoden Fortschritte erzielt werden können /Cummings, 1985/.<sup>1)</sup> Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist aber festzuhalten, dass es für die Schweiz, aber auch für andere vergleichbare Länder empirische Arbeiten zur quantitativen, letztlich also monetären Ausprägung der Risikobewertung in Bezug auf die Kernenergienutzung nicht gibt.

Trotz der (zumindest im Kontext der Erfassung von kollektiven Präferenzen) theoretisch weniger befriedigenden Grundkonzeption muss daher in der vorliegenden Untersuchung auf das Mass der Standardabweichung als (Hilfs-) Grösse zur Berücksichtigung des Risikophänomens zurückgegriffen werden. Man muss sich hier allerdings darüber im Klaren sein, dass die Standardabweichung nur ein mögliches Risikomass unter vielen ist, und dass der Faktor, mit dem die schweizerische Bevölkerung diesem Parameter (nach Massgabe ihrer Risikopräferenz) tatsächlich Gewicht verleihen würde, erst noch durch eine - deutlich intensiviere - empirische Forschung konkretisiert werden müsste.

In Tabelle 11 sind die notwendigen Berechnungen zum Bewertungskriterium Standardabweichung zusammengefasst. Die Tabelle macht auf eindrückliche Weise deutlich, dass mit diesem Bewertungskriterium weit höhere Schadenspotentiale ins Blickfeld kommen als durch die Erwartungswerte. Für den gesamten KKW-Park liegen diese Werte (je nach Eintrittswahrscheinlichkeits- und Ausbreitungsszenario) zwischen 430 Mio Fr/a und 6.850 Mio Fr/a.

---

1) Eine gute Übersicht über die gängigen Verfahren zur Quantifizierung von Risikopräferenzen gibt /Römer, 1993/.

**Tabelle 11: Erwartungswerte E und Standardabweichungen s der Schadenshöhe  
(in Mio Fr/a, Standardabweichungen in Klammern)**

Eintrittswahrscheinlichkeiten (E: Erwartungswert) (s: Standardabweichung)		Niedrige Eintrittswahrscheinlichkeiten		Höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten	
		Ausbreitungsfall 1	Ausbreitungsfall 2	Ausbreitungsfall 1	Ausbreitungsfall 2
Mühleberg	E s	0,058 (164)	0,035 (100)	4,067 (1.574)	2,480 (961)
Beznau I und II	E s	0,065 (208)	0,040 (126)	4.802 (2.026)	2.924 (1.234)
Gösgen	E s	0,142 (429)	0,087 (263)	10.149 (4.174)	6.206 (2.554)
Leibstadt	E s	0,143 (444)	0,088 (271)	10.282 (4.336)	6.291 (2.653)
Total der 5 KKW	E s	0,473 (704)	0,250 (430)	34.102 (6.850)	20.821 (4.188)

Um der grossen Bandbreite der möglichen Bewertungsstrukturen gerecht werden zu können, sollte die Monetarisierung stets zwei Wertepaare bereitstellen, nämlich

den Erwartungswert mit 290.000 - 34.000.000 Fr/a  
die Standardabweichung mit 430 - 6.850 Mio Fr/a.

Hinter diesen Zahlen steht die Vorstellung, dass Personen, deren Bewertung von ausgeprägter Risikoneutralität bestimmt wird, der Standardabweichung den Gewichtungsfaktor 0 zuordnen und allein den Erwartungswert (mit dem Gewichtungsfaktor 1) beachten werden. Bei Personen mit einem starken Bewusstsein für das einzugehende Risiko wird dagegen für die Standardabweichung der Gewichtungsfaktor 1 zugrundegelegt. Nochmals soll betont werden, dass dieser Gewichtungsfaktor letztlich über eine empirische Analyse von Risikonutzenfunktionen abgeleitet werden müsste. Ein Wert von 1 kann hier insofern nur als ein möglicher Eckwert für Präferenzstrukturen dienen, die durch eine steigende Risikoaversion bei der Möglichkeit des Eintritts von extrem hohen Schäden geprägt ist.

Legt man die genannten Wertepaare auf die mittlere jährliche Stromproduktion aus Kernenergie um, so ergeben sich folgende Parameter:

**Tabelle 12: Bewertungskriterien für die Externalitäten der Kernenergienutzung aus dem Unfallrisiko**

Unfallrisiken	
Mögliches Schadensausmass	0 - 3.500 Mrd Fr
Erwartungswert	250.000 - 34.100.000 Fr
Standardabweichung	430 Mio - 6.850 Mio Fr
Auf die jeweilige Stromproduktion umgelegter Erwartungswert	0,001 - 0,17 Rp/kWh
Auf die jeweilige Stromproduktion umgelegte Standardabweichung	1,9 - 31,6 Rp/kWh

Gerade diese Vielzahl von Bewertungsparametern macht deutlich, dass es im Zusammenhang mit der Kernenergienutzung nicht allein um eine - wie auch immer geartete - Umlage eines statisch ermittelten Wertes geht, sondern auch um den (nicht nur monetär zu bewertenden) Umgang mit dem Risiko selbst.

## 2.4 Der Umgang mit dem Risiko

(1) Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass die im vorhergehenden Abschnitt ausgewiesenen Rappenbeträge je kWh einen grundsätzlich anderen Stellenwert haben als die z.B. in anderen Teilen der vorliegenden Gesamtstudie berechneten Rappen je Energieeinheit zur Monetarisierung von Gesundheitsschäden oder Beschädigungen von Flora und Fauna durch die Luftverschmutzung.

Diese Schadensvorgänge laufen kontinuierlich ab. Die Kosten entstehen mit einer gewissen Regelmässigkeit Jahr für Jahr. Die Schäden eines grossen Kernschmelzunfalls sind dagegen ein singuläres einzigartiges Ereignis, die lediglich durch mathematische, probabilistisch begründete "Manipulationen" in Jahreskosten umgerechnet werden.

Dies hat tiefgreifende Konsequenzen für viele der Externalitätsanalysen zugrundeliegenden Überlegungen zur Internalisierung der externen Kosten: Bei den laufend anfallenden externen Kosten z.B. durch Gesundheitsschäden besteht in Teilen der ökonomischen Theorie die Vorstellung, diese Kosten dem Verursacher in Form von Abgaben anlasten zu können (in die ökonomische Kalkulation des Verursachers zu internalisieren).

Bei grossen singulären Ereignissen ist diese Operation sinnlos, der Anlastungsgedanke in Bezug auf die Möglichkeiten einer volkswirtschaftlich optimalen Steuerung inhaltsleer. Wie mehrfach beschrieben, ist vor allem die Berechnung von jährlichen Erwartungswerten mit Hilfe des absoluten Schadensausmasses und der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten eine rein stochastische Doktrin. Es ist nichts bekannt darüber, wann z.B. bei einer Wahrscheinlichkeit von 1 : 100.000 Betriebsjahren der Unfall tatsächlich eintritt: morgen, in 100 Jahren oder eben erst in 100.000 Jahren.

Der Versuch, über die oben ausgewiesenen Rappenbeträge die notwendigen Finanzmittel z.B. für eine Entschädigung der Opfer im Katastrophenfall anzusammeln, würde natürlich regelmässig dann scheitern, wenn der Unfall vor dem Jahr 100.000 einträte (im Jahr 100 wäre z.B. erst 1 Promille der notwendigen Entschädigungssumme akquiriert. Wir kommen hierauf bei dem Aspekt der Versicherbarkeit von Grossunfällen nochmals zurück). Diesen Unterschied gegenüber den in anderen Bereichen errechneten Energiepreiszuschlägen und den für den nuklearen Normalbetrieb ermittelten Zuschlägen muss man sich bei der Verwendung der in Abschnitt 2.3 ermittelten "Jahreskosten des Risikos" stets vor Augen halten. Vor allem ist zu beachten, dass eine Aufaddierung der Zuschläge aus anderen Bereichen mit den Risikozuschlägen stets einer sorgfältigen Kommentierung bedarf. Energiepreiszuschläge sind die Umlage von jährlich

regelmässig anfallenden Schäden. Risikozuschläge stammen aus der subjektiven oder gesellschaftlichen Bewertung der **Möglichkeit** von Schäden.

(2) Dennoch sind die vorgestellten stochastischen Berechnungen durchaus wertvoll. Sie können vor allem genutzt werden, wenn es darum geht, die Kosten und Nutzen unterschiedlicher Energiequellen oder -technologien (unter Einbezug der jeweiligen externen Kosten) zu **vergleichen** und damit das Problem der optimalen **Energiewahl bei Unsicherheit oder unvollständiger Information anzugehen**. Liegen für zwei Energiesysteme zumindest einige quantitative Restriktionen für die Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmter jeweils systemspezifischer Schadensabläufe (z.B. in Form von Kleiner-Gleich-Bedingungen) vor, so lassen sich hier mit Methoden der LPI-Analyse (lineare partielle Information) Lösungsräume finden, die eine Präferenz für oder gegen ein System nach dem sogenannten MinEmax-Kriterien nahelegen.<sup>1)</sup>

In diesem Zusammenhang ist auch ein anderer Aspekt erwähnenswert, der vor allem bei der Diskussion um die Schadensbemessung bei den externen Effekten einer Klimakatastrophe eine Rolle spielt. In den Arbeitsdokumenten zu diesem Themenbereich wird ausgeführt, dass

- ohne gezieltes energiepolitisches Umsteuern (hier: zur **Vermeidung** von CO<sub>2</sub>-Emissionen) mit grosser Wahrscheinlichkeit eine globale Klimakatastrophe eintreten würde, dass aber
- die Folgen dieser Katastrophe (in ihrer wahrscheinlich unermesslichen Grössenordnung) **im einzelnen noch unklar sind**.

Hier bietet es sich an, als Messkonzept für externe Kosten nicht das Schadensausmass selbst, sondern die Höhe der notwendigen **Vermeidungskosten** zur Abwehr einer Klimakatastrophe heranzuziehen. Diese Vorgehensweise ist auch aus der Sicht der ökonomischen Theorie zur "optimalen" Internalisierung externer Effekte gerechtfertigt, weil eine berechnete Vermutung besteht, dass die Vermeidungskosten "auf jeden Fall" niedriger sein würden als die Schadenskosten.

Ein solches methodisches Vorgehen wird verschiedentlich auch bei der Bewertung der externen Kosten der Kernenergienutzung vorgeschlagen: Da die Bestimmung der Schadenskosten - wie gezeigt - äusserst unsicher und zudem noch mit grundsätzlichen methodischen Problemen behaftet ist, solle man demnach auf das sichere Vermeidungskostenkonzept ausweichen.

---

1) In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass in der Analyse der vorhergehenden Kapitel die Wahrscheinlichkeitsverteilungen "punktgenau" vorgegeben wurden.

Die Autoren der vorliegenden Untersuchung teilen diese Auffassung nicht. Wie erwähnt, hat der Vermeidungskostenansatz als Mass der externen Kosten immer dann seine Berechtigung, wenn belastbare Informationen darüber vorliegen, dass die eigentlichen Schadenskosten bei Unterlassen der Vermeidungsmassnahmen grösser sein würden als die Kosten der Vermeidung selbst. Gerade an dieser belastbaren Information mangelt es aber im Fall des Kernenergie-risikos: Mit Sicherheit wären die Vermeidungskosten z.B. durch starkes Stromsparen oder den Einsatz regenerativer Energie zur Stromerzeugung immer dann niedriger als die eigentlichen Schadenskosten, wenn sich ein grosser Kernschmelzunfall "in naher Zukunft" (seien dies 10 oder 100 Betriebsjahre) ereignen würde. Mit Sicherheit wären sie aber deutlich höher als die Schadenskosten, wenn sich dieser Unfall tatsächlich erst in 100.000 oder gar 1 Million Betriebsjahren ereignete.

Ob also der Vermeidungskostenansatz das richtige Mass für die externen Kosten der Kernenergienutzung sein könnten, bestimmte sich wiederum nach der Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines grossen Unfalls. Im Ergebnis fällt also auch der Vermeidungskostenansatz in den Unsicherheitsraum der Risikobewertung selbst zurück.

(3) Bei der Frage nach dem "Umgang mit dem Risiko" wird sehr schnell erkennbar, dass vor allem mit dem Risikobegriff des Erwartungswertes, der "formalen" Bewertung von Risiken je nach Grad ihrer Wahrscheinlichkeit und Folgen, nur ein Element des Phänomens Risiko erfasst wird. Gerade das Beispiel der für Kernkraftwerke durchgeführten Risikostudien hat in der Vergangenheit gezeigt, dass dieser "formale Risikobegriff vollkommen an der Risikowahrnehmung und -bewertung weiter Bevölkerungskreise vorbeigegangen ist: Verursacht durch eine Art "Katastrophenschwelle" /Luhmann, 1991/ wird vor allem dann "formalen" Risikoberechnungen ein geringer Wert zugemessen, wenn selbst bei sehr kleinen ausgewiesenen Wahrscheinlichkeiten ein möglicher Unfall als Katastrophe empfunden wird.

Hier kommen psychologische und soziologische Aspekte des Risikos ins Spiel. Auf einige psychologische Aspekte wurde bereits hingewiesen:

- Unfreiwillige Risiken werden als weitaus gefährlicher eingeschätzt als freiwillige Risiken. Starr sprach hier in seinem klassischen Beitrag zur Risikoanalyse von einem Faktor um 1000 /Starr, 1969/.
- Risiken, die vom Einzelnen nicht kontrolliert werden können, werden weniger akzeptiert als Risiken, von denen der Betroffene glaubt, sie kontrollieren zu können.

- Singuläre Ereignisse mit einer hohen Zahl von Toten (z.B. ein Flugzeugabsturz) wird als höherer Schaden eingestuft als die gleiche Anzahl von Toten aus vielen einzelnen Unfällen z.B. im Strassenverkehr ("psychologisches Risiko, vgl. Binswanger, 1990). Auf den probabilistischen Erwartungswert wie er in Kapitel 2.3 ausgewiesen wurde, wird also eine Risikoprämie (unbekannter Höhe) aufgeschlagen, die die extrem hohe Varianz des Eintritts eines grossen Kernschmelzunfalls reflektiert.
- Risiken, bei denen Schäden erst mit zeitlicher Verzögerung auftreten (entweder bei den Betroffenen selbst oder in späteren Generationen) werden eher akzeptiert /Bechmann, 1993, S. XIII/ (siehe aber /Pedroni, Zweifel S. 34/).

Aus soziologischer Sicht ist herauszuheben, dass die Wahrnehmung und Bewertung von Risiken (insbesondere neuer Technologien) auch von einer ganzen Reihe gesellschaftlicher Faktoren abhängig ist, die letztlich auch von so "diffusen" Konstellationen wie Einstellung zur Natur an sich, Struktur der Leitbilder für die gesellschaftliche Zukunft, Bewertung des Nutzens ökonomischer Prosperität, öffentliche Glaubwürdigkeit des Informationsprozesses usw. determiniert wird.

(4) Da es ein nach nur wenigen Kriterien abgeleitetes Mass für ein Optimum an Umweltrisiken nicht gibt, wird zunehmend gefordert, Standards zu formulieren, die von Produzenten und Konsumenten im Wirtschaftsprozess eingehalten werden müssen. Denkbar sind hier quantitative Risikogrenzwerte und/oder qualitative Standards.

Über kritische Werte, die quantitativ bestimmen, welches Risiko gerade noch akzeptabel ist, besteht selbstverständlich keine Einigkeit. **Quantitative Risikolimits** müssten hier zunächst einmal hinsichtlich der Dimension festgelegt werden, z.B. als

- maximal zulässiges Individualrisiko
- maximal zulässiges Kollektivrisiko
- maximal zulässiges Schadensausmass etc.

Für die Beschränkung des zulässigen Individual- oder Kollektivrisikos gibt es vor allem in den USA bereits Erfahrungen. So trat 1986 das Policy Statement der NCR ( der US Nuclear Regulation Commission) mit dem Titel "Safety Goals for the Operation of Nuclear Power Plants" in Kraft. Die quantitativen Risiko-Grenzwerte lauten /Hahn, Sailer, 1987/:

- Das Risiko eines akuten Todesfalles durch Reaktorunfälle für ein mittleres Individuum in der Nachbarschaft eines Kernkraftwerkes soll ein Zehntel eines Prozents (0,1 Prozent) der Summe der Todesrisiken aus Unfällen, denen die Mitglieder der U.S.-Bevölkerung ausgesetzt sind, nicht übersteigen.
- Das Risiko von tödlichen Krebserkrankungen als Ursache des Kernkraftwerksbetriebes soll für die Bevölkerung in der Umgebung der Anlage ein Zehntel eines Prozents (0,1 Prozent) der Summe der Krebsrisiken aus allen Ursachen nicht übersteigen.

Zudem wird eine - allerdings vorläufige und revidierbare - Richtlinie formuliert. Nach ihr soll "die Gesamt-Eintrittshäufigkeit für eine große Freisetzung von radioaktivem Material kleiner als 1 : 1.000.000 pro Reaktorjahr sein" /Hahn, Sailer, 1987/.

Bei den Safety Goals in den USA handelt es sich also um Grenzwerte für das Individualrisiko und für die Eintrittshäufigkeit. Verbindliche Safety Goals in Form maximaler Unfallwahrscheinlichkeiten gibt es auch in Großbritannien, unverbindliche Risiko-Limits existieren in Frankreich und Kanada.

Nachteilig ist hier natürlich, dass erneut auf den probabilistischen Risikobegriff Bezug genommen werden muss. Die Risikogrenzwerte sind in den USA heftig umstritten, insbesondere wird die Verlässlichkeit der Analysemethoden angezweifelt. Bereits der Entwurf zu den Genehmigungsverfahren in 1983 fand harte offizielle Kritik /Israel, 1984/.

Ein Mangel der bis heute formulierten Risikogrenzwerte besteht darin, dass in den Risikokennziffern die Höhe der möglichen Schäden nicht explizit Eingang findet. "Die Formulierung der Safety Goals lässt nämlich prinzipiell beliebig grosse Maximalschäden zu, wenn nur deren Eintrittswahrscheinlichkeit entsprechend gering ist /Hahn, Seiler, 1987/.

Eine Weiterentwicklung von quantitativen Risiko-Limits könnte demnach darin bestehen, zusätzlich **absolute Limits** für das Schadensausmass zu setzen, da es Schäden geben kann, die unabhängig von ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit so gross sind, dass sie in der Bevölkerung keine Akzeptanz mehr finden. In diesem Vorschlag kommen Erkenntnisse der psychologischen Risikoforschung zum Tragen, nach denen es bei der Bewertung und Akzeptanz von Risiken eine

generelle Tendenz gibt, im wesentlichen das Schadensausmass zu berücksichtigen und die Eintrittswahrscheinlichkeit zu vernachlässigen.

"Offiziell" hat diese Vorstellung erst einmal Eingang in einen gesellschaftspolitisch relevanten Entscheidungsprozess gefunden, nämlich im Wyhl-Urteil des Verwaltungsgerichts Freiburg von 1975: "... Art und Ausmass des Schadens ... sind verheerend genug, um es ... für notwendig zu erachten, dass die geringe Wahrscheinlichkeit eines solchen nuklearen Ereignisses "auf Null" gesenkt wird" /Verwaltungsgericht Freiburg, 1977/. Diese Hinwendung zu einem sogenannten deterministischen Risikokzept blieb im übrigen folgenlos: Das Urteil wurde bereits in der zweiten Instanz aufgehoben. Überhaupt ist natürlich bei solchen deterministischen Konzepten zu fragen, mit welcher Prozedur das gesellschaftliche akzeptierte Limit ermittelt werden soll.

Möglich wäre es hier, ein Limit derart zu formulieren, dass Risiken in einer Marktwirtschaft nur dann zugelassen werden, wenn sie **privat versicherbar** sind. Damit wäre das Verursacherprinzip in der Weise durchgesetzt, dass die Kosten eines Unfalls von den Verursachern in Form von Prämien getragen werden müssten. Das Postulat einer privaten Versicherbarkeit würde entweder dazu führen, dass die Deckungssummen für Reaktorunfälle den zu erwartenden oder nicht auszuschliessenden Schadenskosten angepasst werden oder dass die Risiken der versicherbaren Deckungssummen angepasst, dass die Risiken also entsprechend gesenkt werden. Folgt man den Zahlenangaben der Tabelle 9 auf S. 56 so sind derzeit nur die Schäden aus Quelltermen mit einem Mittelwert von 0,0005 % des Kerninventars versichert (in der Schweiz derzeit Schäden bis 1 Mrd Fr).

Kernschmelzunfälle in ihrer vollen Höhe in Billionen-Grössenordnung, die, wie gezeigt, nicht vollständig ausgeschlossen werden können, privat versichern zu wollen, ist allerdings aussichtslos. Da es sich bei einem grossen Kernschmelzunfall, wie bereits mehrfach erwähnt, um ein singuläres Ereignis (und nicht um zahlreiche, in ihren Einzelwahrscheinlichkeiten stetig auftretende kleine Unfälle) handelt, kann eine private Versicherung auf keinen Fall die gesamte "Ansparphase" von z.B. 100.000 Betriebsjahren ausnutzen. Das Postulat einer privaten Versicherbarkeit würde also zwar einen deutlichen Anreiz geben, die Risiken zu senken oder inhärent sichere Reaktoren zu entwickeln, die versicherungstechnisch notwendige Prämie wäre aber prohibitiv hoch.

/Zweifel und Tyran, 1992/ haben hier kürzlich einen interessanten Vorschlag gemacht, der auf eine Nutzung des Potentials der internationalen Kapitalmärkte durch die Ausgabe von Risikoanteilscheinen hinausläuft.

Ohne hier im einzelnen auf Details eingehen zu können, wäre die Realisierung dieses Vorschlags insofern eine Verbesserung gegenüber der gegenwärtigen Situation als

- durch die Internationalisierung die Zahl der einbezogenen Kraftwerke grösser wäre und man sich so zumindest ein Stück mehr dem versicherungstechnisch relevanten "Gesetz der grossen Zahl" nähern würde,
- die monetären Anreize zur Verbesserung des Sicherheitsstandards bei den einzelnen Betreibern verstärkt werden könnten.

Dennoch kann auch dieser Vorschlag nur eine Teillösung sein, weil es nach wie vor ausgeschlossen erscheint, dass innert einer vernünftigen Frist ein Kapital von 1 Billion Franken und mehr (auch unter Berücksichtigung des internationalen Zuschnitts des Vorschlags) akquiriert und die hierfür erforderliche Verzinsung durch die KKW-Betreiber sichergestellt werden können.

(5) Zurück zu den Risiko-Limits: Die bei der Festlegung von quantitativen Risiko-Limits auftretenden (und wohl kaum zu bewältigenden) Unsicherheiten haben dazu geführt, dass auf die Formulierung und Durchsetzung solcher Limits weitgehend verzichtet wird. Das Vorliegen von Unsicherheiten auf der einen Seite und das Ziel z.B. der Sicherung des ökologischen Existenzminimums legen hier die Berücksichtigung eher **qualitativer Standards** nahe. Allgemeiner Konsens besteht hier in dem Punkt, wie /Hansmeyer und Schneider, 1990/ es ausdrücken, "dass das ökologische Existenzminimum unter absolutem Schutz steht". Das ökologische Existenzminimum kann auch so beschrieben werden, dass "die Umwelt in ausreichendem Masse geschützt und für die nachfolgenden Generationen erhalten und bewahrt wird" /Wicke, 1991/.

Hier treten Aspekte der Irreversibilität von Risiken und der Auswirkungen auf späteren Generationen in den Vordergrund.

Bei der Möglichkeit **irreversibler Schäden** wird häufig der Vorschlag gemacht, zumindest bei sehr hohen Schadenspotentialen die entsprechenden risikobehafteten Entscheidungen aufzuschieben. Dies mag zutreffen. Jedoch ist gleichzeitig die Gefahr zu prüfen, ob nicht durch "Nicht-Entscheiden" mehr oder weniger zwangsläufig zukünftige Irreversibilitäten anderer Art aufgebaut werden.

Auf die Kernenergie bezogen würde die Regel lauten: Steige, weil das Risiko irreversibler Schäden besteht, auf einen Energieträger mit geringeren Risiken um. Berechne aber zunächst die zusätzlichen Kosten, die aus dem Einsatz des anderen Energieträgers entstehen (einschliesslich einer Prüfung der Gefahr anderer Irreversibilitäten, z.B. den Treibhauseffekt aus der Verbrennung fossiler Energieträger).

Gehört es zu den Zielen einer Gesellschaftsordnung, die Umwelt für nachfolgende Generationen zu erhalten, so müssen Risiken, die diesem Ziel im Wege stehen können, minimiert werden. Gefahren mit zeitlich besonders weitreichenden Konsequenzen, welche die Frage der Gerechtigkeit zwischen Generationen berühren, sollte daher ebenfalls sehr risikoaversiv begegnet werden.

(6) Insgesamt ist bei dem Verweis auf qualitative Risikostandards erkennbar, dass damit der notwendigerweise sehr "weiche" Bereich des gesellschaftlichen Diskurses über den Wert oder Unwert einer Technologie betreten werden muss. Unvermeidlich wird dabei aber auch erkennbar, dass die Bewertung von modernen Technologien, die ein grosses Risiko in sich bergen, ein **fulminant gesellschaftspolitischer Prozess** sein muss.

"Die in Anlehnung an die klassische Sicherheitsforschung entstandene Risikowissenschaft hat bis zur Einsicht geführt, dass dem Bemühen um eine rationale Risikokalkulation, um eine unverzerrte Risikowahrnehmung und um eine gerechte Risikoentscheidung letztlich ein Selektionsproblem zugrunde liegt, welches Risiko sozial gewählt und welche sozialen Faktoren dabei eine Rolle spielen. Mit der Erkenntnis, dass jede Risikowahrnehmung und Risikoentscheidung kontextgebunden ist, musste auch die Hoffnung auf ein universelles Risikomass oder eine einzige Risikopräferenz, sei sie psychologisch oder soziologisch begründbar, aufgegeben werden".  
/Bechmann, 1993/.

Das Risiko der Kernenergie - externalisiert oder internalisiert - ist ein soziales und nur zu ganz geringen Teilen ein ökonomisches Konstrukt.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Anspaugh, L.A. et al.: Atmospheric Releases from Severe Nuclear Accidents: Environmental Transport and Pathway to Man, Modelling of Radiation Doses to Man from Chernobyl Releases. In: Nuclear Power Performance and Safety, Proceedings of an International Conference held in Vienna, 28 September - 2 October 1987, Wien 1988
- Baumann, A.; Hill, R.: External Costs / Benefits of Energy Technologies - Development of a Methodology. Newcastle upon Tyne 1991
- Bechmann, G.: Risiko - ein neues Forschungsfeld. In: Bechmann (Hrsg.): Risiko und Gesellschaft, Opladen 1993
- Binswanger, H.-Ch.: Neue Dimensionen des Risikos. In: Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht, 13. Jg. 1990
- Bundesamt für Energiewirtschaft: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1991
- Bundesamt für Energiewirtschaft: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1991
- Bundesamt für Statistik: Bilanz der Wohnbevölkerung in den Gemeinden der Schweiz 1987. Bern 1988. Bilanz der Wohnbevölkerung in den Gemeinden der Schweiz 1990. Bern 1991. Die Bodennutzung der Schweiz; Arealstatistik. Bern 1992
- Cummings, R.; Brookshire, D. and Schulze, W. (Eds.): Valuing Environmental Goods. An Assessment of the "Contingent Valuation Method". Totowa, 1985
- Expertengruppe Energieszenarien: Schriftenreihe 21, Risiken von Energieversorgungssystemen. Bern 1988
- Ewers, H.-J.; Schulz, W.: Die monetären Nutzen gewässergüteverbessernder Massnahmen - dargestellt am Beispiel des Tegeler Sees in Berlin. Berichte des UBA, Berlin 3/1982
- Ewers, H.-J.; Rennings, K.: Die monetären Schäden eines Super-GAUs in Biblis. Diskussionspapier Nr. 2. Institut für Verkehrswissenschaften, Uni Münster 1991

- Ewers, H.J.; Rennings, K.: Abschätzung der Schäden durch einen sogenannten Super-GAU. Prognos Schriftenreihe "Externe Kosten" Band 2. Prognos AG 1992
- Feinendegen, L.E.: Das Problem der kleinen Strahlendosen, eine Herausforderung für die Beurteilung von Schadensfolgen. GRS-Fachgespräch 1986, Köln, 12./13. Nov. 1986, GRS Köln, 1987
- Ferguson, R.: Environmental Costs of Energy Technologies - Accidental Radiological Impacts of Nuclear Power. Unveröffentlichtes Manuskript, 1991
- Fritz-Niggli, H.: Kein Leben ohne Strahlung? Neue Zürcher Zeitung, 26.4.1989
- Fritz-Niggli, H.: Was bewirken kleine Dosen energiereicher Strahlung? Neue Zürcher Zeitung, Forschung und Technik, Nr. 45, 24. Feb. 1993
- Fritzsche, A.F.: Wie sicher leben wir? Risikobeurteilung und -bewältigung in unserer Gesellschaft. Köln, 1986
- Fritzsche, A.F.: Gesundheitsrisiken von Energieversorgungssystemen. Verlag TÜV Rheinland 1988
- Fritzsche, A.F.: Gutachten zum Berichtsentwurf der Prognos: Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie. Pontresina, 1993
- Gardner, M.J.; Snee, M.P. et al.: Results of a case-control study of leukemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. In: Brit. Med. J. 300, 1990a
- Gardner, M.J.; Hall, A.J. et al.: Methods and basic data of case-control study of leukemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. In: Brit. Med. J. 300, 1990b, 429-434
- Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B - eine zusammenfassende Darstellung. 2. Auflage, Köln 1989
- Hahn, L.; Sailer, M.: Charakterisierung von Sicherheitsphilosophien in der Kerntechnik. Öko-Institut e.V. Darmstadt 1987

- Hansmeyer, K.-H.; Schneider, H.K.: **Umweltpolitik - Ihre Fortentwicklung unter marktsteuernden Aspekten.** Göttingen 1990
- Hohmeyer, O.: **Soziale Kosten des Energieverbrauchs.** 2. Auflage. Berlin, Heidelberg 1989
- HSK: **Schreiben an die Schweizerische Energie-Stiftung, Zürich vom 16.4.1987**
- HSK: **Kommentar zum Berichtsentwurf Prognos: "Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie".** Würenlingen 1993
- Il'in, L.A. et al.: **Radiological Consequences of the Chernobyl Accident in the Soviet Union and Measures Taken to Mitigate their Impact.** In: **Nuclear Power Performance and Safety, Proceedings of an International Conference held in Vienna, 28 September - 2 October 1987,** Wien 1988
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): **The International Chernobyl Project. An Overview.** Wien 1991
- International Commission on Radiological Protection (ICRP): **Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.** Oxford, New York 1990
- Israel, S.L.; US-NRC: **How Firm are PRA Results? 5th Int. Meeting on Thermal Nuclear Reactor Safety,** Karlsruhe 1984
- Kahneman, D. and Tversky, A.: **Prospect Theory, an Analysis of Decision under Risk.** In: **Econometrica** 47, 1979
- Kallenbach, U.; Thöne, E.: **Gesundheitsrisiken der Stromerzeugung.** Verlag TÜV Rheinland 1989
- Khan, S.A.: **The Chernobyl Source Term. A Critical Review.** **Nuclear Safety** Vol. 31 (1990) Nr. 3, S. 353 ff
- Kollert, R.: **Systematische Unterbewertung von Katastrophenrisiken - zur Anwendung des Risikobegriffs in nuklearen Risikoanalysen.** In: **Bechmann (Hrsg.): Risiko und Gesellschaft,** Opladen 1993
- Küppers, Ch.; Sailer, M.; Weyrich, K.: **Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke - Phase B: Auswirkungen auf den Katastrophenschutz.** Darmstadt 1990

Luckner, Ch.; Benkert, H.-J.: Energietechnologien und ihre Umweltauswirkungen. Verlag TÜV Rheinland 1989

Luhmann, N.: Soziologie des Risikos. Berlin/New York 1991

Mc Daniels, I.L.: Comparing Expressed and Revealed Preferences for Risk Reduction: Different Hazards and Question Frames. In: Risk Analysis Vol. 8, No. 4. 1988

(U.S.) Nuclear Regulatory Commission: Severe Accident Risks: An Assessment for five US Nuclear Power Plants. Second Draft for Peer Review, Juni 1989

Öko-Institut: Ausgewählte Sicherheitsprobleme und Auswirkungen von schweren Unfällen des Kernkraftwerks Mühleberg/Schweiz. Darmstadt, März 1990

Ottinger, R.L. et al.: Environment Costs of Electricity. New York, London, Rom 1990

Pavlovski, O.A.: Long Term Prognosis of Individual and Collective Exposure Doses to the Population. In: Medical Aspects of the Chernobyl Accident. IAEA-TREDOC-516, Wien 1988

Pearce, D.W.; Turner, R.K.: Economics of Natural Resources and the Environment. New York, London 1990

Pedroni, G.; Zweifel P.: Chance und Risiko. In: Studien zur Gesundheitsökonomie 11, Pharma Information. Basel, 1988

Pickard, Lowe and Garrick, Inc., Westinghouse Nuclear and Advanced Technology Division: BERA - Beznau Sicherheitsanalyse - Hauptbericht. KKB 511D51 Nr. 7, Baden 1991

Prognos AG (Hrsg.): Die externen Kosten der Energieversorgung. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart 1992

Römer, A.U.: Was ist den Bürgern die Verminderung eines Risikos wert? Bern, 1993

Schluchter, W.; Elger, U.; Königsberger H.: Die psychosozialen Kosten der Umweltverschmutzung. IST-GmbH, Berlin, Heidelberg 1989

Schmidt, M. (Hrsg.): Das Strahlenrisiko von Tschernobyl. IFEU-Bericht Nr. 49. Heidelberg.

- Schmidt, M. (Hrsg.): Der Diskussionsstand zum Strahlenkrebsrisiko und die notwendigen Konsequenzen für den Strahlenschutz. In: WSI-Mitteilungen 12/1990, S. 769-777
- Schmitz-Feuerhake, I.: Das Strahlenrisiko. Beantwortung eines Fragenkatalogs für die Enquete-Kommission "Zukünftige Kernenergie-Politik des Deutschen Bundestages". Bremen 1981
- Schmitz-Feuerhake, I.: Wandlung der Angaben über die strahleninduzierte Krebsmortalität. In: Der Strahlenrundbrief Nr. 6. Bremen 1988
- Schmitz-Feuerhake, I.: Die Evidenz der Gesundheitsschäden im Niederdosisbereich. In: Fachverband für Strahlenschutz, Rundschreiben 2/90, 1990
- Schmitz-Feuerhake, I.: Unterschätzt ICRP die Wirkung kleiner Dosen. Röntgenkongress Wiesbaden 1992
- Slovic, P. et al.: Why Study Risk Perception. In: Risk Analysis, Vol. 2, No 2, 1982
- Starr, Ch.: Social Benefits versus Technological Risk. In: Science 165, No. 19, 1969
- UdSSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy: The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and its Consequences. Working Document for the IAEA Experts Post-Accident Review Meeting, Wien, August 1986
- UNSCEAR; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. 1988 Report to the General Assembly, New York 1988
- Verwaltungsgericht Freiburg: Urteil im Wyhl-Prozess. In: NJW, 36, 1977
- Von Neumann, J.; Morgenstern, O.: Theory of Games and Economic Behavior. Princeton, 1944
- Voß, A.; Friedrich, R. et al.: Externe Kosten der Stromerzeugung. Frankfurt 1. Auflage 1989, 2. Auflage 1990
- WASH 1400: Rasmussen, N.C.: Reactors Study - An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants. NRC 1975
- Wicke, L.: Umweltökonomie. 3. Auflage, München 1991

Willecke, T.; Weinberger, N.; Thomassen, G.: Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland. Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln. Köln 1990

Zweifel, P.; Tyran, J.-R.: Schwierige Versicherung nuklearer Risiken. In: Neue Zürcher Zeitung  
5./6. Dezember 1992



Die Funktion und der Aufbau einer Solarzelle, ihr Wirkungsgrad sowie die weiteren Komponenten einer Photovoltaik-Anlage sind im Video erklärt und grafisch dargestellt. Solaranlagen werden entweder als Inselsystem oder im Netzverbund betrieben. Bei einer Netzverbundanlage dient das öffentliche Stromnetz als Speicher. Im Gegensatz dazu funktioniert eine Inselanlage unabhängig vom Elektrizitätsnetz und eignet sich dementsprechend für die Stromerzeugung abseits eines Netzanschlusses. Eine Batterie speichert den Überschussstrom.

Nebst diesen Grundlagen zeigt das Video die Montage von Photovoltaik-Anlagen detailliert auf. Statements von Besitzern verdeutlichen, dass sich Unterhalt und Wartung auf periodische Kontrollen beschränken, weil eine Photovoltaik-Anlage keine mechanisch beweglichen Teile aufweist. Beispiele dokumentieren den Handlungsspielraum und die ästhetische Herausforderung, die sich für ArchitektInnen insbesondere bei der Integration von Solarzellen in eine Gebäudefassade ergeben.

Eine Begleitbroschüre – sie ist im Preis inbegriffen – vertieft die Thematik und tritt zusätzlich auf die Planung, Dimensionierung und den Bau einer Photovoltaik-Anlage detailliert ein. Anhand einer Checkliste mit den wesentlichen Beurteilungskriterien lässt sich abschätzen, ob es sinnvoll ist, am untersuchten Objekt eine Anlage zu realisieren.

Video (VHS-PAL 15'), inklusive  
Begleitbroschüre (36 Seiten):  
1992, Bestell-Nr. 724.241 d  
Fr. 30.–

#### «Photovoltaik – Planungsunterlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen»

Die Photovoltaik, die direkte Erzeugung von Strom aus Sonnenenergie, hat in den vergangenen Jahren den Sprung von der Anwendung bei Pilotanlagen zur weitverbreiteten Technologie geschafft. Bis ins Jahr 2000 – so sieht das Aktionsprogramm Energie 2000 vor – soll die heute installierte Solarzellenfläche um rund das 200-fache gesteigert werden.

An diese Zielsetzung tragen der PACER-Kurs «Photovoltaik – Planung in Theorie und Praxis» sowie die für den Kurs ausgearbeitete Publikation **«Photovoltaik – Planungsgrundlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen»** massgeblich bei. Die Publikation bietet Fachleuten, wie Planern und Ingenieuren, Grundlagenkenntnisse über Sonneneinstrahlung sowie verschiedene Solarsysteme und deren Installation. Das Hauptgewicht liegt auf der Vermittlung praxisnaher Anleitungen für die Planung von Solaranlagen. Insbesondere bei autonomen Systemen, die unabhängig vom öffentlichen Elektrizitätsnetz funktionieren, ist die Planung von grösster Bedeutung, muss doch die Anlage genügend Strom für alle Verbraucher erzeugen und eine Batterie überschüssigen Sonnenstrom speichern können. Bei den Netzverbundanlagen stehen Marktübersicht und Ertragsberechnungen im Mittelpunkt, welche die korrekte Planung erleichtern sollen. Angaben zur Installation von Solaranlagen wie auch Kostenberechnungen runden den planerischen Teil der Dokumentation ab. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen werden sowohl Kosten und Tarifierung als auch graue Energie und Energierücklaufzeit aufgezeigt und Subventionsmöglichkeiten erläutert.

1992, 90 Seiten  
Bestell-Nr. 724.243 d  
Fr. 20.–

#### «Photovoltaik: Dachmontagesysteme»

Heute können einfache standardisierte Photovoltaikanlagen bis zu einer Leistung von rund 3 kW durch das Installationsgewerbe ohne grosse Spezialkenntnisse realisiert werden. Damit eröffnet sich für die Fachleute des Baubereichs, insbesondere für Dachdecker und Elektroinstallateure ein neues Auftragspotential. Die Dokumentation **«Photovoltaik: Dachmontagesysteme»** und der gleichnamige Kurs bietet dem Dachdecker das notwendige Wissen, um diese berufliche Chance wahrzunehmen und zusammen mit dem Elektroinstallateur eine photovoltaische Solaranlage normgerecht und einwandfrei funktionsfähig zu installieren, in Betrieb zu setzen und allenfalls zu warten. Grundlageninformationen zum Potential, zum Aufbau



## Publikationen und Videos des Impulsprogrammes PACER

Die aufgeführten Publikationen und Videos können gegen Verrechnung der Selbstkosten bezogen werden bei der EDMZ, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern. Die aktuelle Übersicht finden Sie in der Zeitschrift IMPULS (Gratisabonnement).

### Erneuerbare Energien: Der notwendige «Fort»-Schritt

Der vermehrte Einsatz erneuerbarer Energien gilt als eine Option, längerfristig fossile Energieträger zu substituieren und eine Energieversorgung zu gewährleisten, die im Einklang mit der Ökologie steht. «Erneuerbare Energien: Der notwendige «Fort»-Schritt»: So liess sich die Option umschreiben und nach ihr heisst die Broschüre, welche das Impulsprogramm PACER kurz zusammenfasst. Die einfache, prägnante Beschreibung ermöglicht einen Überblick über die Zielsetzungen, die verschiedenen Angebote und Mittel der Wissensumsetzung von PACER und ist mit grossen Bildern illustriert, die der Veranschaulichung dienen. Ferner umfasst sie die Adressen der Programmleitung und der verschiedenen Ansprechstellen in der Schweiz sowie eine Liste der Träger- und Patronatsorganisationen.

Bestell-Nr: 724.201 d  
gratis

### Strom aus erneuerbaren Energien:

#### «Photovoltaik – Grundlagen, Montage und Einspeisung»

Studien des Bundesamtes für Energiewirtschaft zeigen: Der Strom aus Solaranlagen könnte rund 10 Prozent des gesamten Stromverbrauchs in der Schweiz abdecken. Zur Produktion von Solarstrom bieten sich insbesondere ungenutzte Gebäudeflächen, Parkplätze sowie Flächen entlang von Eisenbahnlinien und Autobahnen an. Für die entsprechende Verbreitung der Solarzellentechnik sind interessierte Berufsleute nötig, welche die Möglichkeiten erkennen und Photovoltaikanlagen bauen wollen. So lässt sich letztlich auch auf eine Kostensenkung hinwirken.

An solche Elektroinstallateure richtet sich die Dokumentation zum gleichnamigen PACER-Kurs «**Photovoltaik – Grundlagen, Montage und Einspeisung**». Sie bietet diesen Berufsleuten das Fachwissen, um die eigene Hemmschwelle gegenüber der unbekannteren Technik abzubauen und eine Anlage realisieren zu können. Schwerpunkt bilden die Netzverbund-Anlagen, bei welchen als Speicher für den unregelmässig anfallenden Solarstrom das öffentliche Netz benützt wird.

Die Dokumentation soll dem Elektroinstallateur als Nachschlagewerk bei Installation und allfälliger Wartung einer Solaranlage dienen. Sie vermittelt deshalb – nebst theoretischem Grundlagewissen über Meteorologie, Solarzellentechnologie sowie Komponenten und Besonderheiten der Solaranlage – eine praktische Anleitung für die Installation. Dazu gehören unter anderem Gesetze, Vorschriften und Bewilligungen, die es beim Bau zu berücksichtigen gilt.

1991, 110 Seiten  
Bestell-Nr. 724.242 d  
Fr. 24.–

### Video «Photovoltaik:

#### Einführung für Architekten und Bauherren»

Elektrizität ist die gebräuchlichste Energieform, um die Nacht in Tag zu verwandeln. **Elektrizität lässt sich mit Hilfe von Photovoltaik aus der Sonne gewinnen:** Solarzellen wandeln die Sonnenstrahlung in Strom um. Das PACER-Video «**Photovoltaik: Einführung für Bauherren und Architekten**» visualisiert die Möglichkeiten der solaren Stromerzeugung und motiviert zu deren Anwendung.



### **«Solare Warmwassererzeugung – Realisierung, Inbetriebnahme und Wartung»**

Die Sonnenenergienutzung bildet für Sanitär- und Heizungsfachleute eine berufliche Herausforderung: Die Fähigkeit, Sonnenenergieanlagen zu installieren und zu warten, kann mithelfen, Arbeitsplätze zu erhalten, neue zu schaffen und Gewinne zu erzielen.

Der PACER-Kurs **«Solare Warmwassererzeugung – Realisierung, Inbetriebnahme und Wartung»** und die gleichnamige Dokumentation unterstützen insbesondere Sanitär- und Heizungsfachleute der Planungs- und Ausführungsstufe sowie Sanitär- und Heizungszeichner in ausführenden Betrieben, sich die fachliche Kompetenz anzueignen, um diese berufliche Chance wahrnehmen zu können. Die Publikation bietet einleitend meteorologische Grundlagen und tritt auf das Funktionsprinzip eines Sonnenkollektors, dessen Aufbau und die gebräuchlichsten Kollektortypen ein. Im Mittelpunkt stehen Anleitungen zur selbständigen Dimensionierung, Installation, Inbetriebnahme und Wartung von Solaranlagen. Dabei werden einfache Warmwasseranlagen im Ein- und Zweifamilienhaus, Warmwasseranlagen im Mehrfamilienhaus sowie Warmwasseranlagen mit Heizunterstützung im Ein- und Zweifamilienhaus eingehend behandelt. Die Dokumentation beinhaltet ferner das Vorgehen bei der Realisierung einer Solaranlage im Überblick. Sie beschreibt den Ablauf von der Idee, über Preisabsprache, Datenerhebung, Kollektorstandort und Art der Zusatzenergie bis hin zu Baubewilligung und möglichen Subventionen.

1993, 221 Seiten  
Bestell-Nr. 724.213 d  
Fr. 50.–

### **Video: «Solare Wassererwärmung: Techniken von heute für eine Energie der Zukunft»**

Wie wird die Energie der Sonne zur Wassererwärmung genutzt? Welches sind die idealen Einsatzgebiete für Sonnenkollektoranlagen? Diese Fragen stehen im Zentrum des Videos **«Solare Wassererwärmung: Techniken von heute für eine Energie der Zukunft»**. Es visualisiert die aktive Nutzung der Sonnenenergie: Sonnenkollektoren eignen sich zur Erwärmung des Brauchwassers in Wohn- und Geschäftsbauten und für die Schwimmbadbeheizung und zur Heizungsunterstützung. Ebenso verdeutlicht das Video, – insbesondere durch Interviews mit ausführenden Berufsleuten und Anlagebesitzern – dass es sich bei der aktiven Sonnenenergienutzung, um eine einfache Technik handelt. Die Installation erfordert die üblichen Fachkenntnisse von Heizungs- und Sanitärinstallateuren. Zusätzlich können aktive Solarsysteme ArchitektInnen vor eine berufliche Herausforderung stellen: Die Suche nach einer ästhetisch optimalen Lösung für die Integration eines Systems. Weitere Aspekte bilden Wirtschaftlichkeit, Kosten und sinnvolle Realisierungsmöglichkeiten von Sonnenkollektoranlagen. Denn sowohl der Einbezug eines Solarsystems bei der Planung eines Neubaus, wie auch eine notwendige Heizungssanierung bei einem bestehenden Gebäude kann der geeignete Zeitpunkt für die Installation sein.

Das Video wird durch eine Begleitbroschüre vertieft und richtet sich an Architekten, Mitarbeiter von Installationsfirmen, Verantwortliche der Verwaltung, Bauherren und weitere Interessierte.

1993, Bestell-Nr. 724.214 d  
Fr. 35.–

### ***Biomasse und erneuerbare Energien in der Landwirtschaft:***

#### **«Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft: Planungsgrundlagen»**

Auf landwirtschaftlichen Betrieben wird Biomasse produziert, in den Ställen fällt Wärme an und ebenso sind Flächen für die Installation von Sonnenkollektoren vorhanden. Vor diesem Hintergrund ist die Dokumentation **«Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft: Planungsgrundlagen»** entstanden, ausgearbeitet zum gleichnamigen PACER-Kurs. Sie behandelt schwerpunktmässig die Themenbereiche **Wärmerückgewinnung** aus der Stallluft mittels Wärmepumpen für die Beheizung des Wohnhauses und Wärmetau-



und zur Funktion von Photovoltaik- sowie Kollektoranlagen führen in die Thematik ein. Das Hauptgewicht liegt auf einer detaillierten Übersicht über die verschiedenen Montagearten, wie die Systeme «Auf Dach», Spezial- und Solardachziegel sowie Integration in die Dachebene oder Fassade. Die Publikation tritt ausserdem auf die Standorteignung der Solaranlagen, das Bewilligungsverfahren sowie die Zusammenarbeit mit Planern und Elektrikern ein und behandelt kurz die Montagesysteme für Kollektoranlagen.

1993, 123 Seiten  
Bestell-Nr. 724.246 d  
Fr. 30.–

### **Passive und aktive Sonnenenergienutzung:**

#### **Video: «Sonne und Architektur»**

Schon früh richteten die Menschen die Bauweise ihrer Wohnhäuser nach der Sonne aus und profitierten von der Speicherfähigkeit gewisser Materialien: Sie haben die Sonnenenergie passiv genutzt. Wenn Licht und Wärme die Räume durchfluten, ist nicht nur eine Energieeinsparung zu erzielen, sondern ebenso lässt sich die Wohnqualität für die BewohnerInnen steigern. Die heutigen Erkenntnisse eröffnen neue Möglichkeiten, mit der Sonne zu bauen, was im Video **«Sonne und Architektur»** dargestellt wird. Es bietet ArchitektInnen und PlanerInnen aber auch LehrerInnen angehender Bau-fachleute einen Einblick in eine der Zeit angepasste Bauweise, die dem Anspruch gerecht wird: **Moderne Architektur befindet sich im Einklang mit Ökonomie.** Anhand von Entwurfskizzen wird durch die wichtigsten planerischen Grundsätze der Solararchitektur geführt. Neuere Bauten aus den Bereichen Wohnen, Dienstleistung, Industrie und Gewerbe verdeutlichen, dass sich mit geschickter Bauweise für alle Gebäudetypen optimale Lösungen zur passiven Nutzung der Sonnenenergie realisieren lassen.

Grundsätzlich soll möglichst viel Licht in ein Gebäude eindringen und möglichst wenig Wärme verlorengehen. So gelten beispielsweise in der Grösse der Orientierung des Baues angepasste Fenster und Scheiben mit guter thermischer Isolierung als wichtige Bestandteile der Solararchitektur. Beinahe grenzenlos ist bei der passiven Sonnenenergienutzung der gestalterische Spielraum für ArchitektInnen. In diesem Zusammenhang sind Glasatrien zu erwähnen und architektonische Konzepte mit durchdachtem Lichteinfall, der eine wohnlich-helle Atmosphäre in den Räumen schafft. Glasatrien wie auch Wintergärten bieten als Pufferzone zwischen beheiztem Wohn- oder Arbeitsbereich und dem Aussenklima zusätzlichen Raum.

1991, (VHS-PAL 12')  
Bestell-Nr. 724.211 d  
Fr. 25.–

#### **«Sonne und Architektur – Leitfaden für die Projektierung»**

Schon heute leistet die Sonneneinstrahlung durch die Fenster einen ansehnlichen Beitrag zur Deckung des Heizwärmebedarfs in Gebäuden. Eine konsequente Nutzung der passiven Sonnenenergie kann mithelfen, den Verbrauch nicht erneuerbarer Energien zu senken. Wie dieses Ziel erreicht werden kann, zeigt das Handbuch **«Sonne und Architektur – Leitfaden für die Projektierung»**.

Die Publikation ist unterteilt in die folgenden Kurzbeschreibungen:

- **Potential**
- **Bauteile und Grundsätze**
- **technische Installationen**
- **Bauprojekt Gesetze und Normen**

In einer reich gestalteten Beispielsammlung wird anhand bestehender Bauten aufgezeigt, dass sich die Nutzung der passiven Sonnenenergie bereichernd auf die architektonischen Möglichkeiten auswirken kann.

1992, 151 Seiten  
Bestell-Nr. 724.212 d  
Fr. 46.–



1993, Bestell-Nr. 724.223.1 d  
gratis

### **Faltblatt: «Selbstbau-Sonnenkollektoren Heubelüftung»**

Mit einem Sonnenkollektor für die Heubelüftung sparen LandwirtInnen nicht nur Strom und Geld. Er verkürzt auch die Trocknungszeit und verbessert zudem die Futterqualität. Dem Faltblatt können Kurzinformationen über die Schritte für den Bau ebenso entnommen werden wie über die Funktionsweise eines solchen Sonnenkollektors für die Heubelüftung.

### **Energie aus Restholz**

#### **Ein Leitfaden für holzverarbeitende Betriebe**

Momentan werden in der Schweiz rund 1,4 Millionen m<sup>3</sup> Holz energetisch genutzt. Das entspricht 1,6% der Gesamtenergie oder 3% der Wärmeenergieerzeugung. Das sofort verfügbare Potential liegt bei 2,5 Millionen m<sup>3</sup>. Theoretisch könnten sogar 6 Millionen m<sup>3</sup> als Energieholz verwendet werden.

Neben dem Brennholz aus dem Wald bildet das Restholz aus holzverarbeitenden Betrieben einen wesentlichen Anteil des Potentials. Dazu gehören Schwarten, Spreissel, Rinde und Sägemehl aus Sägereien sowie Verschnittstücke und Sägemehl aus Zimmereien und Schreinereien.

Das Inkrafttreten der Luftreinhalte-Verordnung 92 (LRV) hat in vielen holzverarbeitenden Betrieben Verunsicherung bezüglich der Emissionsgrenzwerte bei Holzfeuerungsanlagen ausgelöst. Daraus ergeben sich für holzverarbeitende Betriebe neue Fragen: Ist die energetische Nutzung des Restholzes überhaupt noch sinnvoll und wirtschaftlich? Welche Auswirkungen haben die Grenzwerte der LRV auf die energetische Nutzung eines spezifischen Restholzsortiments? Soll die bestehende Heizung saniert werden und welche Feurungstechniken stehen zur Verfügung? Die Dokumentation «Energie aus Restholz – Ein Leitfaden für holzverarbeitende Betriebe» vermittelt Antworten auf diese aktuellen Fragen von Besitzern und Verantwortlichen holzverarbeitender Betriebe. Daneben behandelt sie die Aspekte der schadstoffarmen Verbrennung von Restholz mit Betrieb, Regelung und Abgasreinigung der Feuerungsanlage, die Reduktion des Energieverbrauchs in einem Betrieb und liefert ergänzend Fallbeispiele zur Grobabschätzung der Betriebsdaten der eigenen Holzfeuerungsanlage. Der Leitfaden zeigt damit grundsätzlich auf, wie ein holzverarbeitender Betrieb eine Vorauswahl für ein sinnvolles Anlagekonzept trifft, das der bestimmten Grösse und dem spezifischen Restholzsortiment entspricht. Das Anlagekonzept für die kostengünstige und ökologisch einwandfreie energetische Nutzung des Restholzes erarbeitet ein Planer.

1994, 109 Seiten,  
Bestell-Nr. 724.238 d  
Fr. 25.–

### **Energie in ARA: Musteranalysen**

Abwasserreinigungsanlagen sind dank der Produktion von Faulgas nicht nur interessante Erzeuger von erneuerbarer Energie, sondern auch bedeutende Energieverbraucher: Sie verbrauchen rund einen Fünftel der Elektrizität kommunaler Bauten und Anlagen. Im Durchschnitt machen heute die Energiekosten einer Abwasserreinigungsanlage 18% des Betriebsaufwandes aus – an sich schon Anlass genug, sich intensiv mit der energetischen Optimierung zu befassen. Die Ermittlung von Energiesparmassnahmen und insbesondere die Umsetzung der wirtschaftlich rentablen Teile liegen daher im Interesse des Kläranlagenbetreibers wie des Abwasserlieferanten. Die damit verbundenen Investitionen sind bestimmt gut angelegt.

In einer zunehmenden Zahl von Kläranlagen müssen in nächster Zeit Anlagenkomponenten wegen Erreichens ihrer Nutzungsdauer ersetzt werden. Zudem werden viele Anlagen mit einer weiterführenden Reinigungsstufe versehen. Diese kostenintensive Zäsur bietet gleichzeitig die Chance, nicht nur die Reinigungsleistung den heutigen Anforderungen anzupassen, sondern ebenso den Energieaufwand zu optimieren und damit wieder Betriebskosten einzusparen.



scher für die Beheizung der Zuluft sowie **Sonnenkollektoren für die Heubelüftung** und im Anhang die Dimensionierung von **Biogasanlagen**. Landwirtschaftlichen BeraterInnen, MitarbeiterInnen von Meliorationsämtern sowie von Architektur- und Ingenieurbüros vermittelt die Dokumentation die nötigen Planungsgrundlagen und Kenntnisse, um den Einsatz von Wärmerückgewinnung, Sonnenkollektoren und Biogasanlagen bei einem Neu- oder Umbau zu evaluieren. Auf Grund dieser Abklärungen lässt sich in der Vorprojektphase beurteilen, wie sinnvoll die Anwendung eines der Systeme, sowohl in ökologischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht, ist. Die Grunddaten zur Dimensionierung der drei Anlagentypen werden mit PC-Programmen berechnet. Sie sind im Anhang der Publikation erläutert und können mit dem dort beigelegten Gutschein bezogen werden.

1991, 123 Seiten  
Bestell-Nr. 724.221 d  
Fr. 38.-  
(inkl. 3 MS-Dos-Disketten)

#### **Video mit Unterrichtshilfe: «Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft»**

Seit jeher nutzt der Landwirt die Sonnenenergie: Indirekt, indem er aus Biomasse Nahrung für Mensch und Tier produziert und direkt bei der Gastrocknung im Freien für die Futteraufbereitung. Die Nutzung von nicht erneuerbaren Energien hat zur Verdrängung interner Kreisläufe auf landwirtschaftlichen Betrieben und zu massiven Umweltbelastungen geführt. Der Einsatz erneuerbarer Energien wie Sonnenenergie, Wasserkraft oder Energie aus Biomasse reduzieren die Belastung.

In der Dokumentation und dem Video **«Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft»** werden die heutigen Möglichkeiten der Sonnenenergienutzung erklärt und aufgezeigt: Als bewährte Beispiele sind Biogasanlagen zur Erzeugung von Wärme und Strom, Photovoltaikanlagen und Kleinwasserkraftwerken zur Stromproduktion und Sonnenkollektoren für die Heubelüftung dargestellt. Die neuere Technik der Treibstoffproduktion mittels nachwachsender Rohstoffe wird am Beispiel des Raps aufgezeigt.

Die Dokumentation ist speziell für landwirtschaftliche Schulen konzipiert. Sie bietet mit Kopiervorlagen, Grafiken, Abbildungen und prägnanten Zusammenfassungen für die Herstellung von Folien ideale Unterrichtshilfen. Ergänzend sind Beispiele aus der Praxis und Wirtschaftlichkeitsrechnungen angeführt.

Video: **vergriffen**  
Publikation: 1992, 69 Seiten  
Bestell-Nr. 724.222.1 d  
Fr. 17.-

#### **«Vergärung von häuslichen Abfällen und Industrieabwässern»**

Bei der anaeroben Vergärung oder Methanisierung werden organische Reststoffe in den erneuerbaren Energieträger Biogas und in organischen Dünger umgewandelt. Sowohl zur Vergärung fester als auch flüssiger Substrate sind in jüngster Zeit neue Verfahren entwickelt worden. Sie eröffnen der Abfallbewirtschaftung, die sich im Zusammenhang mit der getrennten Sammlung organischer Abfälle im Umbruch befindet, ganz neue Perspektiven.

Neben Informationen zu den Grundlagen der Vergärung gibt die Dokumentation **«Vergärung von häuslichen Abfällen und Industrieabwässern»** eine Übersicht über die neuesten Verfahren. Durch einen technischen und ökonomischen Vergleich der Vergärung mit aeroben Verfahren (Kompostierung, Abwasserbelüftung) lassen sich zukünftige Einsatzmöglichkeiten anaerober Verfahren abgrenzen. Ebenso kann das Potential an erneuerbarer Energie in Form von Biogas bestimmt werden. Anhand realisierter Anlagen werden betriebliche Konsequenzen, Kosten und Energiebilanzen vorgestellt.

Die Dokumentation richtet sich an Vertreter von Gemeinden und Industrien, welche sich mit der Verwertung biogener Abfälle und Abwässer beschäftigen, an Ingenieur- und Planungsbüros sowie an interessierte öffentliche Stellen. Ziel ist, dem Leser einen Überblick über die Aufbereitung biogener Reststoffe zu geben, welcher eine optimale Entscheidungsfindung für zukünftige Projekte erlaubt.

1993, 68 Seiten  
Bestell-Nr. 724.230 d  
Fr. 16.-



***Volkswirtschaftliche Aspekte der erneuerbaren Energien:***

**«Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge im Strom- und Wärmebereich. Neue Argumente für Investitionsentscheide».**

Die Strom- und Wärmeversorgung verursacht Kosten, die in den Energiepreisen nicht enthalten sind und für die die jeweiligen KonsumentInnen nichts bezahlen: Das sind sogenannte externe Kosten, wie zum Beispiel die Kosten der Luftverschmutzung, die nicht versicherten Risiken von Grossunfällen, die Beeinträchtigung von Naturräumen, etc. Solange diese Kosten extern bleiben und nicht in die Wirtschaftlichkeitskalküle der InvestorInnen und KonsumentInnen einbezogen werden, solange werden diese Umweltressourcen verschwendet, was zu übermässiger Umweltbelastung führt. Die wichtigsten externen Effekte der Strom- und Wärmeversorgung werden identifiziert, ihr Ausmass quantifiziert und die resultierenden Kosten monetarisiert: Externe Kosten der Luftverschmutzung (Waldschäden, landwirtschaftliche Produktionsausfälle, Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden), externe Kosten der ölbedingten Meeres- und Bodenverschmutzung, Kosten des Treibhauseffektes, externe Kosten der Elektrizitätsproduktion und -verteilung (Beeinträchtigung von Gewässern und der Landschaft, Grossrisiken bei KKW und Staudämmen). Pro Energieträger und pro Energiesystem (z.B. Gasheizungen, Ölheizungen, Gas-WKK-Anlagen, etc.) resultieren daraus kalkulatorische Energiepreiszuschläge (Rp./kWh), welche die monetarisierten externen Kosten widerspiegeln. Die Risiken eines KKW-Grossunfalles oder eines Staudammbruches werden separat behandelt. Die spezielle Risikosituation bei solchen Grossereignissen – sehr kleine Eintretenswahrscheinlichkeit aber extrem grosse Auswirkungen – wirft heikle methodische Probleme auf. Die externen Kosten der Grossrisiken werden in der Form von Risikozuschlägen ausgewiesen.

Die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge und die Risikozuschläge können für eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung verwendet werden, welche externe Kosten integriert. Sie bilden eine Grundlage für die Evaluation von energie- und umweltpolitischen Massnahmen (Kosten/Nutzen-Überlegungen bei Sparmassnahmen, etc.).

Die Arbeit richtet sich an öffentliche und private InvestorInnen sowie an Interessierte aus Planungs-, Architektur-, Ingenieur- und Beratungsbüros, die bei ihren Projekten umfassende Wirtschaftlichkeitsüberlegungen anstellen, aber auch an Vollzugsfachleute in den Bereichen Energie und Umwelt, an Energie- und UmweltpolitikerInnen sowie generell an den Kreis von energie- und umweltpolitisch Interessierten.

1994, 169 Seiten  
Bestell-Nr. 724.270 d  
Fr. 36.–



Diese Chance haben auch das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), das Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK) und das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) erkannt und ein koordiniertes Programm initiiert: E2000, PACER und die Abteilung Abwasseranlagen des BUWAL erteilten gemeinsam den Auftrag zur Erarbeitung von Grundlagen für eine energetische Optimierung von Kläranlagen.

Das vorliegende Handbuch ist das Resultat der gemeinsamen Interessen der drei Ämter. Die Autoren sind im Abwasserbereich seit langem tätige Fachleute mit grossem Erfahrungsschatz. Die vom Verband Schweizer Abwasserfachleute (VSA) getragenen Weiterbildungskurse werden helfen, das im Handbuch zusammengefasste Wissen zu verbreiten. Das Handbuch soll über die Kurse hinaus allen mit Planung und Projektierung von Kläranlagen beauftragten Fachleuten als praktisches Nachschlagewerk dienen, welches ihnen für die Entscheidungsfindung gesichertes Wissen bietet. Zusammen mit den exemplarischen Feinalysen, welche in der Reihe Materialien zu PACER (Bestell-Nr. 724.239.1 d) herausgegeben werden, und einem EDV-gestützten Anwendungsprogramm soll das Handbuch zu einem neuen, energetischen Standard in der Abwasserreinigung beitragen.

Alle am vorliegenden Werk beteiligten Stellen hoffen, dass die Lektüre dem Leser und der Leserin nicht nur zur Vertiefung ihres Wissens dient, sondern daraus Motivation und Können entstehen und die Unterlagen schliesslich Anstösse für möglichst viele energetisch optimale Kläranlagen liefern.

1994, 240 Seiten  
Bestell-Nr. 724.239 d  
Fr. 32.-

### ***Elektrizität aus Kleinstwasserkraftwerken – eine saubere und umweltfreundliche Energie:***

#### **«Kleinstwasserkraftwerke – Einführung in Bau und Betrieb»**

In der Schweiz besteht ein beträchtliches Potential für Kleinstwasserkraftwerke. Dank Förderungsmassnahmen von Bund und Kantonen kann sich die Realisierung einer solchen Anlage aus finanzieller Sicht als interessant erweisen.

Für den Einstieg in diese Thematik dient der Faltprospekt «Kleinstwasserkraftwerke». Ausführlichere Informationen enthält die vorliegende Broschüre. Sie ist eine Übersetzung der bereits erschienenen französischsprachigen Publikation «Petites centrales hydrauliques» des Bundesamtes für Konjunkturfragen. Sie richtet sich an all jene, die sich generell über Kleinstwasserkraftwerke informieren möchten oder eine Anlage zu realisieren gedenken. Die vorliegende Broschüre wird durch kantonale Informationsblätter zum Thema Kleinstwasserkraftwerke ergänzt. All diese Publikationen können bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ) in 3000 Bern bezogen werden.

Die Zukunft der Kleinstwasserkraftwerke ist aufs engste mit der Entwicklung der Strompreise, im besonderen der Rücklieferungstarife verbunden. Zu Redaktionsschluss dieser Broschüre zeichnen sich rasche, für die Kleinstwasserkraftnutzung erfreuliche Veränderungen ab.

1993, 96 Seiten  
Bestell-Nr. 724.244 d  
Fr. 25.-

#### **Faltblatt: «Kleinstwasserkraftwerke»**

Prospekt für Entscheidungsträger mit einem Kurztext über dezentrale, umweltgerechte Energieerzeugung sowie Beispielen: Reaktivierung und Modernisierung alter Anlagen sowie Elektrizitätsversorgung von Siedlungen und Alpwirtschaften, die nicht ans öffentliche Stromnetz angeschlossen sind.

1993, Bestell-Nr. 724.245 d  
gratis



### Materialien zu PACER

Mit «Materialien zu PACER» startete das Impulsprogramm PACER 1993 eine Dokumentationsreihe zu aktuellen Fragen der Anwendung erneuerbarer Energien, inkl. ökologische und ökonomische Aspekte. «Materialien zu PACER» trägt dem Wunsch vieler Beteiligten Rechnung, im Rahmen von PACER erarbeitetes Wissen, das nicht direkt in Kursen umgesetzt werden soll, einem breiten Kreis von Interessierten raschmöglichst zugänglich zu machen.

Die Programmleitung PACER hofft, die Dokumentationsreihe, welche keineswegs auf das Gebäude beschränkt ist, baldmöglichst durch weitere Themen zu ergänzen.

Die ersten vier Hefte sind dem Thema «Möglichkeiten passivsolarer Massnahmen bei Sanierungen und Umbauten» gewidmet.

### Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten.

1993, Bestell-Nr. 724.210.1d  
Fr. 12.–

Synthesebericht  
Autor: Markus Kunz

1993, Bestell-Nr. 724.210.2d  
Fr. 12.–

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten.  
**Balkonverglasungen**  
Autoren: Christian Süsstrunk, Eric Labhard

1993, Bestell-Nr. 724.210.3d  
Fr. 12.–

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten.  
**Luftkollektorfassaden**  
Autoren: Hansruedi Meier, Peter Steiger

1993, Bestell-Nr. 724.210.4d  
Fr. 12.–

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten.  
**Transparente Wärmedämmung**  
Autoren: Sandro Bernasconi, Heini Glauser,  
Andreas Haller, Andreas Herbster, Beat Züsli

Erstmals wurden für die Schweiz die häufig diskutierten externen Kosten von Strom und Wärme in Gebäuden geschätzt (Synthesebericht, 1994, Bestell-Nr. 724.270 d)

### Externe Kosten von Luftverschmutzung und staatlichen Leistungen im Wärmebereich

1994, Bestell-Nr. 724.270.1 d  
Fr. 13.–

Teilbericht 1 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»  
AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Jürg Heldstab, Barbara Jäggin, Anita Sigg, Saskia Willemse, Heidi Ramseier, Margrit Schaal

1994, Bestell-Nr. 724.270.2 d  
Fr. 10.–

### Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie

Teilbericht 2 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»  
Autoren: Klaus P. Masuhr, Thomas Oczipka



**Externe Kosten der fossilen Ressourcennutzung im Wärmebereich**

Teilbericht 3 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»  
 AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Barbara Jäggin, Heidi Ramseier

1994, Bestell-Nr. 724.270.3 d  
 Fr. 8.–

**Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft**

Teilbericht 4 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»  
 AutorInnen: Klaus P. Masuhr, Inge Weidig, Wolfgang Tautschnig

1994, Bestell-Nr. 724.270.4 d  
 Fr. 6.–

**Die externen Kosten der Übertragung und Verteilung von Elektrizität**

Teilbericht 5 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»  
 Autor: Dr. Reinhard Schüssler

1994, Bestell-Nr. 724.270.5 d  
 Fr. 5.–

**Externe Kosten von Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen**

Teilbericht 6 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»  
 Autoren: Walter Ott, Peter Koch

1994, Bestell-Nr. 724.270.6 d  
 Fr. 9.–

**Zusammenfassung des Syntheseberichts** (gratis)

(aussi disponible en français, gratuit)

1994, Bestell-Nr. 724.270.7 d  
 1994, no de commande 724.270 f

Ein weiteres Buch (Materialien) ist im Rahmen des Projektes «Energie in ARA» erstellt worden.

**Energie in ARA: Musteranalysen**

Für den planenden Ingenieur oder die planende Ingenieurin bietet dieses Buch in Ergänzung zum Handbuch (Bestell-Nr. 724.239 d) wichtige Arbeitsinstrumente zur Erstellung energetischer Analysen: Muster von energetischen Feinanalysen an zwei konkreten ARA sowie ein EDV-Programm dazu (mit Disketten und Erläuterungen).

Autoren: Andreas Baumgartner, Beat Kobel, Hugo Kutil, Ernst A. Müller, Peter Stähli, Rolf Thommen

1994, Bestell-Nr. 724.239.1 d  
 Fr. 25.–  
 Disketten  
 724.239.11 für Macintosh  
 724.239.12 für MS DOS

---

# Bisher erschienene Materialien zu PACER

---

Mit «Materialien zu PACER» startete 1993 das Impulsprogramm PACER eine Dokumentationsreihe zu aktuellen Fragen der Anwendung erneuerbarer Energien inkl. ökologische und ökonomische Aspekte. «Materialien zu PACER» trägt dem Wunsch vieler Beteiligten Rechnung, im Rahmen von PACER erarbeitetes Wissen, das nicht direkt in Kursen umgesetzt werden soll, einem breiten Kreis von Interessierten raschmöglichst zugänglich zu machen.

Die Programmleitung PACER hofft, die Dokumentationsreihe, welche keineswegs auf das Gebäude beschränkt ist, baldmöglichst durch weitere Themen zu ergänzen.

Die ersten vier Hefte sind dem Thema «Möglichkeiten passivsolarer Massnahmen bei Sanierungen und Umbauten» gewidmet.

Erstmals wurden dann für die Schweiz die häufig diskutierten externen Kosten von Strom und Wärme im Gebäude geschätzt. (Synthesebericht 1994, Bestell-Nr. 724.270 d)

1993, 724.210.1d

## **Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten**

Synthesebericht

Autor: Markus Kunz

1993, 724.210.2d

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

## **Balkonverglasungen**

Autoren: Christian Süsstrunk, Eric Labhard

1993, 724.210.3d

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

## **Luftkollektorfassaden**

Autoren: Hansruedi Meier, Peter Steiger

1993, 724.210.4d

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

## **Transparente Wärmedämmung**

Autoren: Sandro Bernasconi, Heini Glauser, Andreas Haller, Andreas Herbster, Beat Züsli

1994, 724.270.1 d

## **Externe Kosten von Luftverschmutzung und staatlichen Leistungen im Wärmebereich**

Teilbericht 1 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Jürg Heldstab, Barbara Jäggin, Anita Sigg, Saskia Willemse, Heidi Ramseier, Margrit Schaal

1994, 724.270.2 d

## **Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie**

Teilbericht 2 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Autoren: Klaus P. Masuhr, Thomas Oczipka

1994, 724.270.3 d

## **Externe Kosten der fossilen Ressourcennutzung im Wärmebereich**

Teilbericht 3 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Barbara Jäggin, Heidi Ramseier

1994, 724.270.4 d

## **Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft**

Teilbericht 4 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

AutorInnen: Klaus P. Masuhr, Inge Weidig, Wolfgang Tautschnig

1994, 724.270.5 d

## **Die externen Kosten der Übertragung und Verteilung von Elektrizität**

Teilbericht 5 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Autor: Dr. Reinhard Schüssler

1994, 724.270.6 d

## **Externe Kosten von Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen**

Teilbericht 6 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Autoren: Walter Ott, Peter Koch

Bezugsadresse:  
EDMZ, 3000 Bern