

RADIOAKTIVITÄT ALS KRANKHEITSAKTOR

Gesellschaftliche Probleme einer expansiven Kernenergieproduktion ¹⁾

P. Weish & E. Gruber

Da sich ganz allgemein die gesundheitsschädigenden Nebeneffekte der verschiedenen zivilisatorischen Entwicklungen erst dann gezeigt haben, wenn sehr viele Menschen unter den Begleiterscheinungen zu leiden haben und längere Zeiträume der Einwirkung verstrichen sind, erscheint es sinnvoll, sich mit den Fragen der Kerntechnik in Österreich schon dann zu befassen, wenn dieser Bereich noch in seinen Anfängen steht.

Für die Auseinandersetzung mit dem Umweltfaktor Radioaktivität sprechen vor allem drei Gründe:

- Seine Bedeutung ergibt sich aus der beabsichtigten Eskalation der Kernenergieproduktion und Nuklearindustrie.
- Er ist beispielhaft für biologische Zusammenhänge und wirtschaftliche Wachstumsprozesse und die Unzulänglichkeit gesellschaftlicher Kontrollen.
- Den Langzeit- und Spätschäden aus der Kerntechnik kann in ihren Anfangsstadien am wirksamsten vorgebeugt werden.

3. 3. 1 Biologische Strahlenwirkung

Die verschiedenen, beim Zerfall radioaktiver Stoffe freiwerdenden Strahlenarten treten beim Durchgang durch den Körper in Wechselwirkung mit Atomen sowie Molekülen und erzeugen bei ihrer Absorption elektrisch geladene Teilchen. Sie werden daher allgemein als ionisierende Strahlung bezeichnet. Die Energie ionisierender Strahlung ist außerordentlich groß. Energiereiche Betateilchen oder Elektronen mit annähernd Lichtgeschwindigkeit haben genug Energie, um Tausende chemische Bindungen zwischen Atomen zu sprengen und eine unübersehbare Vielfalt strahlenchemischer Reaktionen auszulösen. Röntgen- und Gammastrahlen setzen über verschiedene Mechanismen ihrerseits wieder energiereiche Elektronen frei. Alpha-Teilchen zeichnen sich durch sehr dichte Ionisation und daher intensive lokale Effekte aus.

Die Wirkung ionisierender Strahlung auf lebende Zellen ist am ehesten einem Hagel kleinster Geschosse vergleichbar, die dort, wo sie auftreffen, Biomoleküle oder -strukturen zerstören. Das Verständnis strahlenbiologischer Vorgänge wurde dementsprechend wesentlich durch Einführung des sogenannten Trefferprinzips gefördert, das die diskontinuierliche Natur der Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie widerspiegelt (N. V. TIMOFEEFF-RESSOWSKY et al., 1972). Stets ergibt sich eine unspezifische Störung der normalen Ordnung im Chemismus und in den Strukturen und damit bei der

¹ Dieser Text war ein Kapitel im Projekt „Systemanalyse des Gesundheitssystems in Österreich“ (1975), im Auftrag des Bundeskanzleramtes. Dieser Beitrag wurde gesondert vom Gesamtprojekt verbreitet, fand Beachtung in den Medien und war ein wirksamer Beitrag zur Kernenergie-Diskussion in Österreich. Das Gesamtprojekt wurde unter dem Titel „Gesundheit im gesellschaftlichen Konflikt – vergleichende Analyse von Gesundheitssystemen“ 1980 im Verlag Urban & Schwarzenberg veröffentlicht, mit einem Geleitwort von Bruno Kreisky (siehe Anhang).

funktionellen Regelmäßigkeit in den Stoffwechselabläufen der lebenden Zelle. Das Ausmaß des Strahlenschadens in einer Zelle hängt natürlich ganz entscheidend von der erhaltenen Dosis und darüber hinaus davon ab, welche Strukturen betroffen sind. Besonders schwere Folgen hat die Schädigung des Erbmaterials. Die Desoxyribonukleinsäure (DNS), deren artspezifische Struktur die Erbinformation verkörpert, kann schon durch eine einzige molekulare Wechselwirkung chemisch wesentlich verändert werden. Diese chemische Veränderung kann sich dann bei der jeder Zellteilung vorangehenden DNS-Biosynthese – in der die Struktur des vorhandenen Moleküls als Matrize für das neu aufzubauende dient – als "Druckfehler" der Erbinformation manifestieren.

Derartige Erbschäden im Zellkern (oder in extranuklearen Organellen), von denen sehr viele Formen bekannt sind und die als Mutationen bezeichnet werden, können sich auswirken als:

Krebsentstehung

Gemäß der Mutationstheorie der Krebsentstehung ist der Übergang einer normalen Körperzelle in eine Krebszelle auf bestimmte Mutationen zurückzuführen, die sich als Enthemmung der Zellteilung auswirken. Weil es sich um Soma-Zellen (Körperzellen) handelt, spricht man von somatischen Mutationen.

Mißbildungen

Eine angeborene Mißbildung kann als Folge einer somatischen Mutation während der embryonalen Entwicklung auftreten. Die Regionen oder Organbezirke des Körpers, die von der mutierten Zelle abstammen, funktionieren abnormal oder sind mißgebildet. Stammen die Keimdrüsen von normalen Zellen ab, so ist die Mißbildung nicht erblich. Mißbildungen können allerdings auch von chemischen Stoffen (z.B. Contergan) ausgelöst werden und sind dann unter Umständen nicht erblich.

Erbschäden

Geht ein Organismus aus mutierten Keimzellen hervor, so hat er den Fehler in allen Zellen seines Körpers und kann ihn auch weitervererben. Die Symptome von Erbkrankheiten können zwar in vielen Fällen behandelt werden, eine echte Heilung ist aber mit Sicherheit auszuschließen.

(1) Die Wirkung hoher Dosen ionisierender Strahlung

Die Bestrahlung des ganzen Körpers mit Dosen von einigen hundert rad (rad ist eine Einheit der Bestrahlungsdosis – 1 rad entspricht einer absorbierten Energie von 100 erg/g) schädigt empfindliche Organsysteme (Darmepithel, Blutbildungszentrum etc.) durch Abtöten oder Störung der Teilungsfähigkeit der Zellen so stark, daß die Folgen der Ausfälle für den Organismus nach einigen Tagen bis Wochen tödlich enden.

Bestrahlungsdosen dieser Größenordnung werden von kerntechnischen Anlagen im Normalbetrieb nicht verursacht, wohl aber bei nuklearen Störfällen, wenn sie einen bestimmten Umfang überschreiten.

(2) Die Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung

Wird der ganze Körper oder werden Teile des Körpers niedrigen Dosen ionisierender Strahlung

ausgesetzt, so sind keine Fröhschäden zu beobachten. Es werden nur sehr wenige Zellen abgetötet, und diese Ausfälle sind für den Körper ohne jede Bedeutung. In diesem Fall beruht die Wirkung auf strahlengeschädigten Zellen, die sich weitervermehrten und den Defekt damit "biologisch verstärken". Die Wirkung tritt erst nach vielen Zellgenerationen in Erscheinung. Die Latenzzeit – zeitlicher Abstand zwischen Strahlenereignis und sichtbarem Schaden – beträgt bis zu vielen Jahren, bei Erbschäden sogar bis zu mehreren Generationen. Man spricht deshalb von Strahlenspätchäden.

(2.1) Leukämie und Krebs

Leukämie, auch Blutkrebs genannt, als krankhafte Vermehrung der weißen Blutkörperchen (man unterscheidet mehrere Formen) ist nicht heilbar und endet stets tödlich. Das spontane Auftreten beträgt etwa 50 Fälle pro Jahr und einer Million Menschen. Die Auslösung von Leukämie an Menschen durch Strahlung wurde mit zahlreichen epidemiologischen Studien nachgewiesen:

- Leukämie und Krebs an den Überlebenden der Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki, Leukämie bei Radiologen, Leukämie und Krebs bei Gruppen mit medizinischer Strahlenexposition wie Spondylitispatienten und nach
- pränataler diagnostischer Bestrahlung.

Die Untersuchungen der Atomic Bomb Casualty Commission (ABCC) ergaben, daß vier bis fünf Jahre nach den Atombombenabwürfen ein starker Anstieg von Leukämie in der überlebenden strahlenbelasteten japanischen Bevölkerung auftrat. Die Zunahme hat mindestens 20 Jahre lang angehalten, bevor sie abzuklingen scheint. Die ABCC-Untersuchungen haben deutlich gezeigt, daß das Leukämierisiko proportional mit der Strahlendosis zunimmt. Hatte man ursprünglich nur Leukämie als typische Strahlenspätfolge angesehen und bei Risikoabschätzungen berücksichtigt, wurde bald deutlich, daß auch andere Krebsarten nach längerer Latenzzeit von Strahlung ausgelöst werden (BEIR-Report, 1972).

Im Gegensatz zu den A-Bomben-Opfern, die akut mit hohen Dosen bestrahlt worden waren, setzt sich die Strahlenbelastung von Röntgenärzten aus vielen niedrigen Einzeldosen zusammen. Statistische Untersuchungen (siehe bei A. M. LILIENFELD, 1966) haben ein gegenüber Augenärzten um den Faktor 2,5 erhöhtes Auftreten von Leukämie an Radiologen erwiesen und damit die Wirkung niedriger Einzeldosen unter Beweis gestellt.

Wichtige weitere Informationsquellen liefert das Studium von Bevölkerungsgruppen, die aus medizinischen Gründen Strahlenexpositionen unterworfen waren. Eine solche Studie wurde von W. M. COURT-BROWN und R. DOLL (1957) ausgeführt. Es wurden die Krankengeschichten von 13 000 Patienten ausgewertet, die wegen einer Wirbelsäulenversteifung (ankylosierende Spondylitis) therapeutische Dosen zwischen 112 und mehr als 3000 Röntgen (abgekürzt: R; 1 R entspricht etwa 1 rad und bei Gammastrahlung auch 1 rem) in Form vieler Einzelbestrahlungen erhalten hatten. Diese Untersuchung bildet eine wichtige Voraussetzung für die Abschätzung des mit Strahlung verbundenen Leukämie- und Krebsrisikos. Ebenso wie bei den ABCC-Studien zeigte sich in diesem Fall zunächst nur Leukämie, in den folgenden Jahren stieg dann das Verhältnis Krebs zu Leukämie steil an, weil die Latenzzeit anderer Krebsarten abgelaufen war.

Aber auch die medizinisch-diagnostische Strahlenanwendung ist nachweislich Ursache von Krebserkrankungen. Während aus der älteren Literatur hervorgeht, daß Tuberkulose und Lungenkrebs einander in der Regel ausschließen, ergab eine neuere Erhebung (R. STEINITZ, 1965) ein 5 - 10mal

größeres Risiko von Tuberkulosepatienten, an Lungenkrebs zu erkranken. J. W. GOFMAN und A. R. TAMPLIN (1970) erklärt diese Tatsache mit der gegenüber früheren Zeiten starken Zunahme der diagnostischen Durchleuchtungen (siehe auch BEIR-Report, 1972, S. 136 f.).

Bezugnehmend auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die die karzinogene Wirkung relativ hoher Dosen beweisen, wurde häufig die Ansicht geäußert, daß für somatische Schäden wie Krebs und Leukämie ein Schwellenwert der Strahlenwirkung, eine Toleranzdosis existiert, unterhalb dessen kein Strahlenrisiko bestünde.

Den frühesten Hinweis, daß auch sehr niedere Dosen karzinogen sind, brachten Arbeiten von A. STEWART an der Oxford-Universität. Es wurde nachgewiesen, daß das Risiko von Kindern, bis zu ihrem 10. Lebensjahr an Krebs oder Leukämie zu sterben, beinahe verdoppelt war, wenn ihre Mütter während der Schwangerschaft eine Serie von drei bis fünf Unterleibröntgen erhalten hatten (A. STEWART et al., 1958).

Diese Arbeit wurde 1962 von einer größeren epidemiologischen Studie über nahezu 800 000 Kinder aus New York und New England bestätigt (B. MAC MAHON, 1962). Eine neuere extensive Untersuchung von A. STEWART und G. W. KNEALE (1970) hat ergeben, daß pro Million Kinder, die kurz vor der Geburt eine Dosis von 1 rad erhalten, in den ersten 10 Lebensjahren zusätzlich 300 bis 800 Kinder an Krebs sterben. Das bedeutet, daß nur 1,2 rad das spontane Auftreten von 700 Fällen pro Million verdoppeln. Darüber hinaus hat sich eine wesentlich höhere Empfindlichkeit des Fötus während des ersten Drittels der Schwangerschaft gezeigt, so dass die Verdoppelungsdosis in diesem Fall bei etwa 100 Millirad liegt. Wie aus der Tabelle 80 zu ersehen ist, besteht eine lineare Beziehung zwischen Krebsauftreten und Zahl der Röntgenaufnahmen. Ein Schwellenwert der Strahlenwirkung ist nicht erkennbar.

Tabelle 80

Zusätzliches Krebsrisiko bei Kindern unter 10 Jahren in Abhängigkeit von der Zahl der Röntgenaufnahmen während ihrer pränatalen Entwicklung 1)

Zahl der Röntgenaufnahmen	Zunahme des Krebsrisikos in %
0	0
1	20
2	28
3	70
4	100

Quelle: A. STEWART und G. W. KNEALE, 1970.

1) Die Bestrahlungsdosis entspricht 0,2 - 0,46 rad pro Aufnahme.

Viele eingehende Tierexperimente (Literatur bei J. W. GOFMAN et al., 1971) haben die Krebsauslösung ebenfalls bis in den niedrigen Dosisbereich erwiesen. Alles in allem lassen diese neueren Arbeiten wenig Zweifel an einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung der Krebs- und Leukämieauslösung durch Strahlung zu. Sicherlich kann bei jeder einzelnen Untersuchung eingewendet werden, daß möglicherweise unterhalb des untersuchten Dosisbereichs eine Abweichung von der Linearität und ein Schwellenwert der Wirksamkeit ionisierender Strahlung bestünde. Für eine solche Annahme gibt es jedoch keine rationale Begründung, da sie eine grundlegende Änderung des Wirkungsmechanismus unterhalb des Linearitäts-Bereiches voraussetzt. Darüber hinaus würde eine solche bisher nicht bewiesene Annahme ein verantwortungsloser Ausgangspunkt zum Schutz der Volksgesundheit sein.

Das Phänomen der strahleninduzierten Karzinogenese beschreiben J. W. GOFMAN et al. (1971) mit folgenden drei Sätzen:

- Allen Anzeichen nach kann jede Form von Krebs durch Strahlung ausgelöst werden.
- Jene Strahlendosen, die die spontane Krebsrate verdoppeln (Verdopplungsdosen), stimmen für die meisten Krebsarten weitgehend überein.
- Kinder im frühen Entwicklungs- und Jugendstadium sind im Hinblick auf die Entstehung von Strahlenkrebs empfindlicher als Erwachsene
- (Tabelle 81).

Strahlenkrebsempfindlichkeit verschiedener Altersklassen

	Zunahme der Krebssterblichkeitsrate pro rad (in %) in der Plateau-Region
Im Mutterleib	50
0 - 5	10
6 - 10	8
11 - 15	6
16 - 20	4
21 - 30	2

31 - 40	1
41 - 50	0,5
51 - 60	0,25
61 und darüber	als vernachlässigbar angenommen

Die Krebserkrankungen treten erst nach Ablauf einer Latenzperiode in Erscheinung, und die Erhöhung der Krebssterblichkeit kann danach viele Jahre anhalten (Abb. 36). Die für die quantitative Risikoabschätzung wichtige Frage nach der Dauer der Plateauregionen bei verschiedenen Krebsformen und Altersgruppen kann derzeit noch nicht mit absoluter Sicherheit beantwortet werden.

Abbildung 36

Zunahme der Strahlenkrebshäufigkeit

Zeit nach der Bestrahlung Quelle: J. W. GOFMAN et al., 1971, Fig. 1.

Als vor einigen Jahren die beiden Mitarbeiter der amerikanischen Atomenergiekommission (AEC) J. W. GOFMAN und A. R. TAMPLIN eine Berechnung publizierten (1970), wonach in den Vereinigten Staaten jährlich 16 000 bis 32 000 zusätzliche Leukämie- und Krebsfälle auftreten würden, sollte die Bevölkerung die zulässige Strahlendosis von 170 Millirem pro Jahr aus Programmen der Atomindustrie abbekommen, erregten sie damit erhebliches Aufsehen. Die Art dieser Berechnung ist relativ einfach. Addiert man die höchstzulässige Strahlendosis von 170 Millirem pro Jahr über 30 Jahre, so ergibt sich eine Gesamtbelastung von 5 rem. Legt man nun gemäß Tabelle 2 eine Zunahme der Krebssterblichkeit von ein bis zwei Prozent pro rad zugrunde, ergibt sich für 5 rad eine zusätzliche Krebssterblichkeit von 5 - 10%. Das ergibt dann in den Vereinigten Staaten, wo jährlich etwa 320 000 Menschen an Krebs sterben, eine Zunahme um 16 000 - 32 000 Fälle pro Jahr. Diese Berechnung wurde lange Zeit heftig angegriffen, doch bezeichnenderweise wich die amerikanische Atomenergiekommission einer öffentlichen wissenschaftlichen Diskussion dieser Problematik aus. Ein Komitee der relativ unabhängigen amerikanischen Akademie der Wissenschaften veröffentlichte 1972 eine umfangreiche Studie über das Strahlenrisiko bei großen Bevölkerungsgruppen (BEIR-Report, 1972) und gelangte zu einer Risikoabschätzung von 3000 - 15 000 Krebstoten pro Jahr, wiederum unter der Annahme, daß die Bevölkerung die höchstzulässige Strahlendosis über längere Zeiträume abbekommt. Die zahlenmäßigen Unterschiede lassen sich auf unterschiedliche Detailannahmen bei der Berechnung zurückführen, das zugrundeliegende Konzept ist im Prinzip identisch und die beiden Ergebnisse gleichermaßen beunruhigend.

Ein gewisser Mangel derartiger Berechnungen liegt neben einzelnen Unsicherheiten (z. B. das Verhältnis von Krebs- zu Leukämiefällen, die Länge der Plateauregion usw.) in der Annahme einer in Bezug auf die Strahlenempfindlichkeit homogenen Bevölkerung. Eine großangelegte Untersuchung hat gezeigt, daß diese Annahme nicht gerechtfertigt ist (I. D. J. BROSS und N. NATARAJAN, 1972). So ist z. B. bei einer Gruppe von Kindern das Risiko, nach Bestrahlung des Fötus während der Schwangerschaft mit niedrigen Dosen an Leukämie zu erkranken 10mal größer als im Durchschnitt. Diese erhöhte Strahlenempfindlichkeit ist mit einer Disposition zu allergischen Krankheiten korreliert.

Die bei den Risikoabschätzungen oft verwendeten Strahlenschutznormen, die von "Durchschnittspersonen" und Durchschnittsbelastungen ausgehen, sind angesichts dieser neuen Befunde untaugliche Instrumente zu einem ausreichenden Schutz der Bevölkerung vor niedrigen Strahlendosen.

Es wird öfters darauf hingewiesen, daß unsere praktischen Erfahrungen auf Experimente zurückgehen, bei denen die Strahlung kurzfristig mit hoher Intensität eingewirkt hat. Gleichzeitig wird die Vermutung geäußert, daß der Effekt gleich großer Strahlendosen, die durch langfristige Akkumulation von Strahlung niedriger Intensität zustande kommen, geringer sei. Die den Abschätzungen der somatischen Strahlenschäden allgemein zugrunde gelegte lineare Dosis-Wirkungsbeziehung wird deshalb häufig als "pessimistische" Annahme bezeichnet.

Dies steht jedoch in krassem Widerspruch zu neueren Untersuchungen im niedrigen Dosisleistungsbereich. A. PETKAU (1972) hat nachgewiesen, daß Phospholipidmembranen – Organellen von der Art, wie sie in den Zellen vorkommen – von viel geringeren Strahlendosen zerstört werden, wenn die Strahlung protrahiert, d. h. über längere Zeiträume hinweg, einwirkt. Ähnliche Befunde hoher Effektivität niedriger Dosen protrahierter Bestrahlung wurden an Knochenmarkszellen (T. STOKKE et al., 1968) und an roten Blutzellen (K. G. SCOTT et al., 1973) erarbeitet. Die Resultate dieser Studien bedeuten, daß die Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung nicht pessimistisch, sondern im höchsten Maße optimistisch ist, da sie das Ausmaß der Strahlenschäden in jedem Dosisbereich, der für die Betrachtung der epidemiologischen Effekte der Kernindustrie bedeutsam ist, weit unterschätzt.

Konsequenterweise ist auch mit einer Auswirkung regionaler Unterschiede der natürlichen Strahlenbelastung auf die Krebssterblichkeit der Bevölkerung zu rechnen. Zur Untersuchung dieses Zusammenhanges bedarf es neben langfristigen, detaillierten Krebsstatistiken und umfangreichen dosimetrischen Daten (unter Berücksichtigung medizinischer Strahlenbelastung) noch der Angaben über soziologische Unterschiede und die Mobilität der Bevölkerung. Darüber hinaus wäre es vorteilhaft, wenn die miteinander verglichenen, ausreichend großen Gruppen sich nur in der Strahlenbelastung, nicht aber in anderen Faktoren, wie Lebensweise, Ernährung, medizinische Betreuung usw. unterschieden. Auf Grund dieser Schwierigkeiten ist es nicht weiter verwunderlich, daß brauchbare Arbeiten auf diesem Gebiet bisher nicht erschienen sind. Merkwürdigerweise wird von manchen Befürwortern der Kernenergieproduktion das Fehlen adäquater Untersuchungen mit dem Fehlen von Strahlenschäden selbst gleichgesetzt und daraufhin die kühne Behauptung aufgestellt, eine Überschätzung des Strahlenrisikos sei genauso gefährlich wie eine Unterschätzung (z. B. von O. HUG, 1971). Diese Auffassung entspricht wirtschaftlichen und politischen Interessen, denen an einer rücksichtslosen Expansion der Kernenergieerzeugung gelegen ist.

Die oben zitierte Arbeit von I. D. J. BROSS und N. NATARAJAN (1972) weist deutlich darauf hin, daß für Leukämie – dasselbe gilt für Krebs – keine einzelne Ursache anzunehmen ist. Anstelle einer einfachen Ursache-Wirkungsbeziehung finden wir ein viel komplizierteres Phänomen, bei dem dieselbe Ursache in Abhängigkeit von der Empfindlichkeit eine Reihe von Bioeffekten auslösen kann und umgekehrt ein bestimmter Effekt von verschiedenen Umweltfaktoren ausgelöst werden kann.

Die im Hinblick auf industrielle Ballungszentren ungemein wichtige Frage nach der Kombinationswirkung von Strahlung und konventionellen Schadstoffen ist heute nicht zufriedenstellend zu beantworten, da diesbezügliche Untersuchungen fehlen. Die bisher einzige brauchbare Arbeit (F. E. J. LUNDIN et al., 1969) befaßt sich mit dem Lungenkrebsrisiko von Uran-Bergleuten bei Zusammenwirken von Zigarettenrauchen und Strahlenbelastung durch Inhalation des radioaktiven Gases Radon-222 im Bergstollen. Im vorhinein hatte man angenommen, daß die Wirkung der Strahlung durch die viel stärkere

Wirkung des Zigarettenrauchens überdeckt würde. Wie jedoch aus der Tabelle 82 ersichtlich wird, ist gerade in der Gruppe der Raucher der Strahleneffekt besonders hoch. Es handelt sich nicht um eine additive, sondern eindeutig um eine multiplikative Wirkung.

Tabelle 82

Todesfälle durch Krebs der Lunge und der Atemungswege unter Uranbergleuten

	zu erwartende Todesfälle	beobachtete Todesfälle	strahlenbedingter Verstärkungsfaktor
Raucher	15,5	60	4
Nichtraucher	0,5	2	4

Quelle: F. E. LUNDIN et al., 1969.

(2. 2) Mißbildungen

Über die Ausbildung von Mißbildungen an Versuchstieren durch Strahlung liegen zahlreiche Untersuchungen vor (z. B. L. JACOBSON, 1968). Es ist anzunehmen, daß es auch für diese Wirkung keine unschädliche Dosis gibt. Eine epidemiologische Untersuchung (J. T. GENTRY et al., 1959) hat ergeben, daß in Gegenden des Staates New York mit höherer Radioaktivität des Bodens die Zahl von Kindern mit Mißbildungen der verschiedenen Organsysteme größer ist, als in Gegenden mit normaler Umgebungsstrahlung. Bei jeder Erhöhung der Strahlenbelastung~ ist daher mit zusätzlichen Mißbildungen zu rechnen

(2. 3) Erbschäden

Die Genetik ist von den MENDELschen Regeln über die Chromosomentheorie und molekularbiologische Einsichten zu einem prinzipiellen Verständnis der Vererbung gelangt. Es hat sich gezeigt, daß die grundlegenden Strukturen und Gesetzmäßigkeiten bei allen Organismen im wesentlichen übereinstimmen. Das Erbmateriale eines Individuums, die Chromosomen in den Zellen, enthalten die Gesamtheit der artspezifischen biologischen "Information" (Genotyp), die sich in der Erscheinungsform, dem Phänotyp, ausprägt, und zwar im morphologischen Aufbau, im Stoffwechsel, in den Sinnesfunktionen und in angeborenen Verhaltensweisen. Unter Anwendung einer speziellen Kreuzungstechnik gelang bereits 1927 H. J. MULLER an der Taufliege Drosophila der Nachweis der mutagenen Wirkung ionisierender Strahlung. Später wurden diese Befunde an vielen anderen Organismen bestätigt und eine Reihe strahlengenetischer Gesetzmäßigkeiten formuliert:

- Alle Arten energiereicher Strahlung sind mutagen.
- Zur Auslösung von genetisch wirksamen Mutationen ist die Absorption der ionisierenden Strahlungen in den Keimzellen erforderlich.
- Ionisierende Strahlung induziert bei allen Organismen Mutationen, d. h. ihre mutagene Wirksamkeit hat universellen Charakter.

- Es werden alle Formen von Mutationen induziert (Gen-, Chromosomen- und Genommutationen).
- Spontane und induzierte Mutationen sind nicht zu unterscheiden.
- Die Häufigkeit der strahleninduzierten Mutationen ist proportional zur Dosis.
- Für die Auslösung von Mutationen kann keine unwirksame Dosis angegeben werden.

Die einmal eingetretenen chemischen Veränderungen in den Chromosomen sind nicht rückgängig zu machen. Die genetische Wirkung selbst kleinster Strahlenmengen wird deshalb über längere Zeiträume akkumuliert. In der Regel bedeuten diese Mutationen eine Schädigung des Erbmaterials. Nur ein verschwindender Teil kann vorteilhaft für den Träger sein. Dieser geringe Bruchteil der Mutanten hat gemäß der modernen Evolutionstheorie in Verbindung mit komplizierten Mechanismen der Auslese und Isolation die Stammesentwicklung der Organismen ermöglicht. Unter natürlichen Bedingungen haben Individuen mit erblichen Defekten stark verminderte Chancen, einen Beitrag zum Genpool der nächsten Generation zu leisten; sie werden bevorzugt von der Auslese erfaßt. In natürlichen Populationen stellt sich zwischen dem Zustrom an neuen Mutationen und der natürlichen Auslese ein Fließgleichgewicht ein, in dem der Anteil an erbgeschädigten Individuen sehr niedrig ist.

Mit der menschlichen Zivilisation wurden in vielen Gebieten der Welt die zahlreichen und früher sehr wirksamen Auslesebedingungen (Hunger, Krankheit usw.) zunehmend gemildert oder ausgeschaltet. Dazu haben vor allem ökonomische, soziologische, hygienische, diätetische und medizinische Veränderungen beigetragen. Diese Ausleseverminderung bewirkt in Verbindung mit der natürlichen Mutationsrate eine Anhäufung von Mutationen. Es kommt so zu einer dauernden Anreicherung genetischer Schäden innerhalb menschlicher Populationen, da im allgemeinen die Fortpflanzungswahrscheinlichkeit erbkranker Menschen — unter Berücksichtigung medizinischer Betreuung in der Hochzivilisation — in den meisten Fällen nicht merklich geringer ist, als die gesunder Menschen.

Die Symptome erblicher Stoffwechselkrankheiten sind vielfältig, wie z. B. Epilepsie, Schwachsinn, Kretinismus, Vitamin-D-resistente Rachitis und verschiedene Formen cerebraler Degeneration (K. DIEM und C. LENTNER, 1968). Daneben finden sich noch zahlreiche Augenanomalien sowohl morphologischer als auch physiologischer Natur, die Ursache mannigfaltiger Formen von Fehlsichtigkeit und Erblindung sein können. Wie folgenschwer sich eine einzige Punktmutation auswirken kann, zeigt das Beispiel des Hämoglobin-S (eines der etwa 80 derzeit bekannten abnormen Hämoglobine), das Ursache der Sichelzellenanämie ist. Es unterscheidet sich vom normalen Hämoglobin nur durch den Austausch einer einzigen der 146 Aminosäuren, die das Molekül aufbauen. Viele Erbkrankheiten haben ihre Ursache in Enzymdefekten. In den letzten Jahren hat die Kenntnis dieser Zusammenhänge stark zugenommen (siehe L. L. CAVALLISFORZA und W. F. BODMER, 1971, S. 74 f.).

Die Fortschritte der pharmazeutischen Forschung und der therapeutischen Maßnahmen ermöglichen es heute in vielen Fällen, die Krankheitssymptome zu lindern oder völlig zu unterdrücken. Wegen des genetischen Ursprungs ist eine echte Heilung dieser Krankheiten jedoch unmöglich. Von besonderer Bedeutung ist die Erkenntnis, daß bei einem Großteil aller Krankheiten genetische Komponenten beteiligt sind und daß daher eine steigende Zahl von Erbänderungen das Auftreten der meisten Krankheiten vermehren würde. Das Ausmaß der letalen Folgen einer erhöhten Mutationsrate ist deshalb etwa um den Faktor 50 höher anzusetzen als noch vor wenigen Jahren angenommen wurde, denn bei der Abschätzung der genetischen Gefährdung des Menschen durch Strahlung fanden meist nur einige auffällige, aber

relativ seltene Erbkrankheiten (wie z. B. Hämophilie oder achondroplastischer Zwergwuchs) Berücksichtigung.

Die Existenz stabiler und labiler Gene (mit hohen bzw. niedrigen Verdopplungsdosen) sowie unsere Unkenntnis über deren Verteilung innerhalb des menschlichen Erbmaterials schränken den Wert jeder quantitativen Abschätzung der genetischen Strahlenwirkung allerdings erheblich ein. Die Befunde von R. W. KAPLAN (1957) sowie die Arbeit von I. D. J. BROSS und N. NATARAJAN (1972) über Personengruppen hoher Sensibilität berechtigen zur Annahme, daß die Strahlenempfindlichkeit menschlicher Gene vom gesamten genetischen Hintergrund abhängt und demgemäß individuelle Unterschiede aufweist.

Der Umstand, daß die meisten menschlichen Erbschäden keine drastische Vitalitätsverminderung mit sich bringen, ist für die Menschheit als Ganzes keineswegs tröstlich. Im Gegensatz zu den stark vitalitätsvermindernden Mutationen, die im Laufe weniger Generationen von der Auslese eliminiert werden, verursachen jene mit nur schwach vitalitätsvermindernder Wirkung ihre Schäden während vieler Generationen. Das Ausmaß der Schädigung pro Generation und die Zahl der geschädigten Generationen sind umgekehrt proportional. Der von einem Gen verursachte Gesamtschaden ist deshalb für alle belastenden Gene der gleiche. Dies gilt allerdings nur für eine Population gleichbleibender Größe! In einer wachsenden Population stellen Erbschäden, die eine geringere Vitalitätsverminderung mit sich bringen, eine höhere Belastung dar, da der Schaden künftigen Generationen mit mehr Menschen weitergegeben wird. In diesem Zusammenhang ist unter anderem von Interesse, daß in den letzten Jahrzehnten in den USA die Auslese gegen die Disposition zu Schizophrenie stark abgenommen hat (L. L. CAVALLISFORZA und W. F. BODMER, 1971, S. 309).

Es darf nicht übersehen werden, daß neben den körperlichen und geistigen Eigenschaften des Menschen viele seiner Verhaltensweisen ererbt sind – z. B. der Mutterinstinkt oder viele soziale Verhaltensformen (Über die Frage des Ausmaßes der Vererbung von menschlichen Eigenschaften und Verhaltensweisen wurde in der Projektgruppe keine Einigkeit erzielt). Diese angeborenen Verhaltensformen, die durch Lernprozesse verstärkt, abgeschwächt oder ergänzt werden, haben sich im Zuge der Stammesentwicklung beim Menschen ebenso wie auch bei den anderen Lebewesen herausgebildet, da sie eine arterhaltende Funktion erfüllt haben. Dies ist in der Gesellschaft von heute nicht mehr im ursprünglichen Sinn und Umfang gültig, was mit ein Grund für psychische Spannungen sein dürfte. Eine durch mutagene Einflüsse verursachte weitere Veränderung ererbten Verhaltens mag deshalb bei einer ersten oberflächlichen oder flüchtigen Betrachtung als nicht weiter ernstzunehmend scheinen. Es ist jedoch zu erwarten, daß dadurch in Zukunft Störungen des komplexen Gefüges des Sozialverhaltens eintreten.

Trotzdem werden zuweilen noch Hoffnungen geäußert, daß eine Erhöhung der Mutationsrate eine Vermehrung der Zahl positiver Mutationen mit sich bringt, die eine genetische "Verbesserung des Menschen" ermöglichen könnte. Wir kennen heute zwar viele negative Mutationen in Form von Erbkrankheiten des Menschen, nicht aber eine einzige positive Mutation. Davon abgesehen ist ein Einzelindividuum mit einer möglichen positiven Mutation gleichzeitig von einer Unzahl negativer belastet und somit die Auslese unmöglich.

Intellektuell außergewöhnlich begabte Menschen (Einstein, Leonardo da Vinci, Galilei usw.) sind keine Mutanten, sondern aus einer — im engeren Sinn des Wortes — glücklichen Genkombination hervorgegangen. Sie sind das sichtbare Beispiel für die Vorteile der geschlechtlichen (im Gegensatz zur ungeschlechtlichen) Vermehrung in der Evolution. Eine steigende Mutationshäufigkeit und die Verbreitung der Erbschäden im Laufe der Generationen wird daher die Möglichkeit zu derartigen

menschlichen Spitzenleistungen zwangsläufig verringern. Eine genetische "Verbesserung der Menschheit" ist deshalb auf diesem Weg ausgeschlossen.

Die Pflege der Erbgesundheit, durch verbrecherische Aktionen im Dritten Reich in Mißkredit gebracht, hat – und zwar auf freiwilliger Basis etwa in Dänemark gegen die erbliche Zuckerkrankheit – erstaunliche Erfolge zu verzeichnen. Auch in Österreich sind dafür Ansätze vorhanden. Geradezu paradox aber ist, daß das österreichische Gesundheitsministerium auf dem Weg über das "Strahlenschutzgesetz" die wirtschaftliche Nutzung erbschädigender Technologien wie die Errichtung und den Betrieb von Kernkraftwerken einräumt.

"Im Zeitalter der Atomenergie sollte nicht von Strahlengenetik gesprochen werden ohne auf die Bedeutung hinzuweisen, die diesem Problem für die Erhaltung der Menschheit zukommt. Von diesem Gesichtspunkt aus liegt die Gefahr der Strahlung (und vielleicht auch der Chemotherapie?) nicht in ihrer physiologischen Wirkung. Diese erlischt mit dem Tode des Einzelindividuums. Viel einschneidender ist die ständige und unmerkliche Akkumulierung von Mutationen im Erbgut der Bevölkerung. Auch scheinbar ungeschädigte Individuen können Träger rezessiver Mutationen sein, die erst nach vielen Generationen durch das Zusammentreffen gleicher oder ähnlicher Schädigungen an Miß- und Fehlgeburten zutage treten und zur Weiterverbreitung von Erbkrankheiten (Augenfehler, Skelettanomalien und viele andere) führen werden. Die Konsequenzen des gehäuften Auftretens solcher Defekte auf die soziologische Struktur der Menschheit sind kaum abzuschätzen.

Genetiker werden oft gefragt, welche Strahlendosis toleriert werden könnte. Die Antworten sind unterschiedlich und werden meist nur widerstrebend gegeben, denn es gibt auf diese Frage keine Antwort. Abgesehen von der Tatsache, daß das heute vorliegende Versuchsmaterial zwar eindeutig Erzeugung schädlicher Mutationen durch Strahlung beweist, aber für quantitative Angaben den Menschen betreffend noch recht unvollkommen ist, müßte für eine solche Antwort festgelegt sein, ob wir eine Verdopplung, Verzehnfachung oder Verhundertfachung der heute durch Spontanmutation bedingten Fehlgeburten, Mißbildungen und Erbkrankheiten für "tragbar" halten. Entscheidend in unserer Verantwortung für spätere Generationen ist die Tatsache, daß erst nach genügender Verbreitung der rezessiven Defekte durch weitgehende Fortpflanzung der heutigen Menschheit die Katastrophe über unsere Enkel und Urenkel hereinbrechen kann, auch wenn wir heute den Eindruck einer normalen Situation haben" (C. BRESCH, 1970, S. 67).

(2.4) Die Wirkung einer radioaktiv verseuchten Umgebung auf den Menschen

Radioaktive Verseuchung von Luft, Boden und Wasser als Ergebnis von Atombombenversuchen oder als Folge der Emissionen kerntechnischer Anlagen verursacht neben der Bestrahlung von außen auch noch eine Strahlenbelastung von innen her, wenn die radioaktiven Stoffe vom menschlichen Körper aufgenommen werden.

Für die biologische Strahlenwirkung ist die im Körper absorbierte Dosis maßgebend. Es erscheint gleichgültig, ob ein Mensch eine bestimmte Dosis von äußeren oder von innerhalb seines Körpers liegenden Strahlenquellen erhält. Aus mehreren Gründen können inkorporierte Radionuklide jedoch wesentlich stärker schaden. Alpha- und Beta-Strahlen schädigen infolge ihrer intensiven Wechselwirkung mit Materie biologisches Gewebe besonders stark. Wegen ihrer kurzen Reichweite sind sie für äußere Bestrahlung von geringerer Bedeutung, bei innerer Bestrahlung hingegen belasten sie Zellen und Gewebe aus nächster Nähe extrem hoch.

Anreicherung in bestimmten Organen, wie z. B. Jod in der Schilddrüse oder Radium und Strontium in den Knochen verursacht lokal hohe Dosen. Handelt es sich um strahlenempfindliche Organe (z. B. Knochenmark), kann deren erhöhte Strahlenbelastung für den Organismus schädlicher sein als eine Verteilung der Dosis über den ganzen Körper.

Der amerikanische Radiologe E. J. STERNGLASS von der Universität Pittsburgh hat in den letzten Jahren viele epidemiologische Untersuchungen über Gesundheitsschäden als Folge erhöhter Umwelt-Radioaktivität – wie z.B. Leukämie, Krebs, Kindersterblichkeit, Totgeburten und angeborene Mißbildungen – veröffentlicht (zusammenfassende Darstellung: E. J. STERNGLASS, 1972). Die ersten dieser Arbeiten befaßten sich mit den Auswirkungen des radioaktiven "fallout" der atmosphärischen Atombombentests. In den darauffolgenden Studien analysiert er die Wirkungen radioaktiver Emissionen kerntechnischer Anlagen, die in manchen Gegenden zeitweise die Größenordnung des "fallout" aus den Atombomben erreichten. Die Gegenüberstellung radioaktiver Emissionen verschiedener Kernkraftwerke, Forschungsreaktoren und Aufarbeitungsanlagen mit den aus den "US-Vital Statistics" entnommenen Fällen von Kindersterblichkeit, Krebs, Leukämie, Mißbildungen und anderen Krankheiten aus der Umgebung dieser Anlagen ergab in sehr vielen Fällen eine statistisch signifikante Übereinstimmung.

Vielleicht sind einige der von E. J. STERNGLASS ermittelten Befunde nicht im strengen Sinn beweisend, so sind sie doch Anlaß genug, einer expandierenden Nuklearindustrie mit Skepsis und Besorgnis zu begegnen. Das, was gelegentlich als Widerlegung präsentiert wird, ist Kritik an Detailfragen und nicht in der Lage, alternative stichhaltige Klärungen der Probleme zu liefern. Leider wurden diese ernstesten Probleme nicht immer mit der notwendigen Gewissenhaftigkeit behandelt. Meist wurde seichte und sachunkundige Kritik geäußert und häufig der Versuch unternommen, seine Person in Mißkredit zu bringen. (Nähere Details zu dieser Auseinandersetzung siehe auf Seite 384 f~.) Die bisher geäußerte Kritik wird der gesamten STERNGLASS-Arbeit nicht im entferntesten gerecht. Aus zwei triftigen Gründen liegt die Beweispflicht bei jenen, die seine Befunde ableugnen: Erstens sind auf Grund der eingangs dargelegten strahlenbiologischen Einsichten selbst bei niedrigen Strahlendosen schädliche Effekte zwingend zu erwarten; zweitens ist billigerweise zu fordern, daß die Industrie ihre Unschädlichkeit zu beweisen hat, nicht die betroffenen Bürger deren Schädlichkeit.

Das Hauptargument gegen E. J. STERNGLASS ist, daß die von ihm beschriebene Zunahme der Kindersterblichkeit mit den relativ geringen Ganzkörperdosen, die aus dem "fallout" oder Gasausstoß von Kernanlagen berechnet werden, nicht erklärt werden können. Dieser Einwand verliert jedoch mit unserer wachsenden Kenntnis der unerwarteten Anreicherungsmechanismen inkorporierter Radionuklide in den Organen (siehe unten), der hohen Wirksamkeit niedriger Nuklidkonzentrationen auf Zellmembranen (A. PETKAU, 1972), und dem Nachweis strahlensensibler Phasen der Keimesentwicklung (A. STEWART und G. W. KNEALE, 1970) mehr und mehr an Gewicht. Untersuchungen an Mäusen mit inkorporiertem Strontium-90 haben eine unerwartet hohe Strahlenbelastung der Keimdrüsen (Gonaden) ergeben, die auf das Tochterprodukt Yttrium-90 zurückzuführen war (W. A. MÜLLER, 1967). An diesem Beispiel wurde deutlich, wie wichtig es ist, neben dem inkorporierten Nuklid seine jeweiligen Tochterprodukte und ihr Verhalten im Stoffwechsel (Organanreicherung, biologische Halbwertszeit usw.) bei der Abschätzung der Strahlenwirkung mit einzubeziehen. Im Falle der Yttrium-90-Akkumulation in den Keimdrüsen ist infolge der hohen Strahlenbelastung der Keimzellen die Schädigung der Nachkommenschaft weitaus stärker, als wenn die absorbierte Strahlenenergie auf den ganzen Körper verteilt wäre. Bei 20 untersuchten Organen steht die Anreicherung von Yttrium-90 in den Keimdrüsen an fünfter Stelle **sie ist vom** Geschlecht abhängig und ist im Eierstock 2,5mal höher als im Hoden. Dieses Nuklid wird außerdem in der Bauchspeicheldrüse, am stärksten aber in der Gehirnanhangdrüse (Hypophyse) angereichert (E. H. GRAUL und H. HUNDESHAGEN, 1958).

Die Hypophyse nimmt in der Steuerung des Hormonhaushalts eine zentrale Stellung ein. In der Embryonalentwicklung ist für das normale Heranreifen der Organe, z. B. der Lunge, ein voll intaktes Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierensystem unabdingbare Voraussetzung (J. H. KNELSON, 1971). Sind verschiedene Organsysteme nach der Geburt infolge einer verzögerten Entwicklung noch nicht voll funktionstüchtig, ist das Neugeborene gegenüber "normalen" Umwelteinflüssen in stark erhöhtem Maß anfällig. Die Yttrium-90-Anreicherung und damit Strahlenschädigung der Hypophyse läßt ebenfalls diese mittelbare, indirekte Schadwirkung erwarten. E. J. STERNGLASS (1972) beschreibt eine starke Zunahme unreifer Geburten in der Umgebung des Dresden-Reaktors (Illinois), die mit dem Maximum des Ausstoßes radioaktiver Abgase zusammenfällt und mit einem solchen Wirkungszusammenhang erklärt werden könnte. Es ist anzunehmen, daß derartige indirekte Strahleneffekte an der erhöhten Kindersterblichkeit in der Umgebung von mehreren Kernanlagen mitbeteiligt sind. Im Skelett der Mutter gespeichertes Strontium-90 wird während der Schwangerschaft mit dem Calcium laufend abgebaut und kann den Embryo mit viel höheren Dosen belasten als aus der von der Mutter aufgenommenen Menge (Aktivität) zunächst zu erwarten wäre. Auch für andere Radionuklide gilt, daß nach ihrer Passage durch die Plazenta und Anreicherung im Keim dieser von der Strahlung örtlich um ein Vielfaches stärker belastet wird als der Mutterorganismus (Y. I. MOSKALEV et al., 1969; N. C. DYER und A. B. BRILL, 1969).

Während heute noch zuweilen die niedrigen "fallout"-Aktivitäten als unbedenklich bezeichnet werden, hat eine multivariable statistische Studie über 61 urbane Gebiete der USA (L. B. LAVE et al., 1972) ergeben, daß die allgemeine Sterblichkeit zur "fallout"-Radioaktivität in engerem Zusammenhang steht als zur Luftverschmutzung. Der dabei bestimmte Anstieg der Sterblichkeitsrate nach Erhöhung der Umweltkonzentration vom Strontium-90 und Caesium-137 um 10 % wird in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Tabelle 83

Anstieg der Sterblichkeitsrate nach Erhöhung der Umweltkonzentration

von Strontium-90 und Cäsium-137 um 10%

Radionuklid	Strontium-90	Caesium-37		
	größter Effekt	kleinster Effekt	größter Effekt	kleinster Effekt
Sterblichkeitsrate:				
Gesamt	1,11 %	-	1,45 %	
Kinder (~ 1 Jahr)	0,60%	0,39%	0,29%	
Kinder (~ 28 Tage)	0,72 %	0,35 %	0,32 %	0,08 %
Embryo	1,49 %	0,58 %	0,60 %	0,06 %

Quelle: L. B. LAVE et al., 1972.

Weitere umfassende Untersuchungen auf diesem Gebiet sind dringend erforderlich. Zu den wichtigen heute noch unzureichend erforschten Fragen zählt die abiotische Verteilung emittierter radioaktiver Stoffe in der Umwelt, die Aufnahme und Anreicherung der vielfältigen Radioisotope in Organismen, ihre Weitergabe in den Nahrungsketten und die daraus resultierende Strahlenbelastung für die Organismen. Völlig unzulänglich ist derzeit noch unsere Kenntnis über die Wirkung der meisten inkorporierten Radionuklide auf den Menschen während seiner frühen sensiblen Phasen in der Embryonalentwicklung. Eine große Unbekannte ist die Kombinationswirkung von ionisierender Strahlung und "konventionellen" Schadstoffen in der Umwelt.

In gewissem Sinne eine Sonderstellung nehmen radioaktive Aerosole (heiße Teilchen) ein, wie sie u. a. bei den Kernwaffentests und Plutoniumbränden in die Atmosphäre gelangen. In den Bläschen der Lunge werden vornehmlich Teilchen mit einem Durchmesser von etwa 1/1000 mm abgelagert. Teilchen größeren Durchmessers werden in den oberen Bereichen des Atmungstraktes vor allem durch Turbulenz in der Nase abgefangen, kleinere werden meist wieder ausgeatmet.

Abbildung 37

Dosisleistung in der Umgebung eines radioaktiven Teilchens in biologischem Gewebe)

Quelle: B. RAJEWSKY et al., 1962, S. 247; erweitert.

Plutoniumoxydteilchen von 1 Mikrometer Durchmesser haben eine Aktivität von etwa 0,5 bis 1 p Ci. Das entspricht dem scheinbar sehr geringen Wert von 1 bis 2 radioaktiven Zerfällen pro Minute und Teilchen. In den umliegenden Zellen ist die Strahlenintensität jedoch wegen des geringen Abstands und der hohen Energie der Alpha-Teilchen sehr hoch, und zwar bis über 1000 rad pro Stunde. Plutonium hat außer einer langen physikalischen Halbwertszeit, die bei 24 000 Jahren liegt, auch eine lange biologische Halbwertszeit, d. h. es wird praktisch nicht ausgeschieden. Außerdem ist die Selbstreinigungskraft der tiefen Lungenpartien gering. Der inkorporierte Strahler ist daher über lange Zeiträume wirksam. Wegen der begrenzten Reichweite der Alpha-Strahlen erstreckt sich die Wirkung nur auf eine begrenzte Zellregion, die dafür aber intensiv geschädigt wird.

Risikoabschätzungen lassen pro 10 000 in der Lunge abgelagerter Aerosolteilchen einen Fall von Lungenkrebs erwarten, gleichgültig auf wie viele Personen sich diese Anzahl verteilt (D. P. GEESAMAN, 1970). Die Strahlenschutzrichtlinien für Plutonium vernachlässigen die intensive lokale Bestrahlung mit ihrem extrem hohen Krebsrisiko und gehen von einer rechnerischen Gleichverteilung der Strahlung über die gesamte Lunge aus. Es besteht daher heute weitgehend Übereinstimmung darüber, daß die Plutonium-Standards unzulänglich sind. Unter Berücksichtigung der lokal extrem hohen Strahlenbelastung bei inhalierten heißen Teilchen fordern A. R. TAMPLIN und T. B. COCHRAN (1974) eine Reduktion der für Plutonium-239 höchstzulässigen Konzentration um den Faktor 115000. Die diesbezügliche Problematik ist insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung schneller Brüter von höchster Bedeutung und stellt diese Entwicklungslinie entschieden in Frage, weil sie unter solchen drastisch verschärften Strahlenschutzauflagen nicht mehr praktisch durchführbar ist.

3.3.2 Die Kerntechnik und ihre Abfälle

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen, beginnend beim Uranbergbau und endend bei der Atommüllagerung, ist durch die Entstehung radioaktiv verseuchter Abfälle mit vielfältigen und vielschichtigen Problemen belastet. Bei der Behandlung des Abfalls stehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung: der Abfall wird verdünnt und in die Umwelt emittiert oder die radioaktiven Stoffe des Abfalls werden konzentriert und in einem kontrollierten Lager aufbewahrt. Die Wahl zwischen diesen beiden Alternativen wird primär von den daraus entstehenden Kosten mitbestimmt. Die Entscheidung ist außerdem abhängig von gesetzlichen Regelungen und Auflagen der Behörden.

Im konkreten Fall sind bei der Behandlung radioaktiven Abfalls folgende Faktoren von Bedeutung:

- Der Aggregatzustand des Abfalls (flüssig, gasförmig oder fest) sowie
- die Aktivität,
- die Halbwertszeit,
- die Zerfallsart und
- die Radiotoxizität der darin enthaltenen radioaktiven Stoffe.

Abbildung 38

Stufen des Brennstoffzyklus

Quelle: J. P. HOLDREN, 1973.

Haben die Radionuklide in den Abfällen, worunter sinngemäß auch die Abgase kerntechnischer Anlagen zu zählen sind, nur eine kurze Halbwertszeit, wird vor der Emission oder Deponierung eine zeitweise Rückhaltung vorgenommen, in der die Hauptaktivitäten weitgehend abklingen können. Bei Verunreinigungen mit Material mittlerer oder langer Halbwertszeit kann dieser Weg jedoch nicht beschritten werden.

Radioaktive Gase treten vor allem bei drei Schritten des Brennstoffzyklus auf: Uranbergbau, Kernkraftwerk, Aufarbeitungsanlagen. So enthält die Luft in den Bergwerkstollen Radon-222, das aus dem uranhaltigen Gestein entweicht. Dieses radioaktive Edelgas ist die Ursache der erhöhten Lungenkrebsinzidenz unter den Bergleuten. Durch die Stollenbewetterung gelangt es schließlich in die Atmosphäre. Radon entweicht aber auch den Abfallerzen ("tailings"), denen durch einen chemischen Prozeß zwar das Uran entzogen worden ist, in denen seine radioaktiven Folgeprodukte jedoch nach wie vor enthalten sind – darunter Radium-226, das mit 1600 Jahren Halbwertszeit zu Radon zerfällt.

Diese "tailings" als niedrig aktive feste Abfälle (sandförmige Beschaffenheit) bilden wegen ihrer großen Menge ein Umweltproblem ersten Ranges. In den USA werden gegenwärtig mehr als 100 Millionen Tonnen Abfallerze gelagert, die US-Atomic Energy Commission hat jedoch für die Lagerhaltung – bezeichnenderweise – jede Verantwortung abgelehnt. Die Erosion durch Wettereinflüsse bewirkt eine laufende Freisetzung auch der nichtgasförmigen radioaktiven Inhaltsstoffe, durch die dann Oberflächengewässer und Grundwasser verseucht werden.

Auch in bezug auf Österreich ist dieser Fragenkomplex von Bedeutung, da auch bei uns wachsende Bestrebungen im Gange sind, Uranerzvorkommen aufzuspüren und auszubeuten. Es sollte jedoch bedacht werden, daß eine inländische Uranförderung für die Eigenversorgung völlig wertlos ist, da der Technologievorsprung der Brennstoffproduzenten praktisch nicht aufgeholt werden kann und da vor allem der Zugriff zu den Anreicherungsmonopolen der Nuklearmächte versperrt ist.

Tabelle 84

*Aktivität der Spaltprodukt-Edelgase am Kamin nach 30 Minuten Verzögerungs-
(Abkling-)zeit (Quellenstärke in m Ci/s)*

Isotop Quellenstärke Halbwertszeit radioaktiver
Tochterisotope

Kr-89	0,3	3,2 m	Rb-89	15,4 m
			Sr-89	52 d
Xe-137	0,9	3,9 m	Ba-137 m	2,55 m
			Cs-137	30,23 a
Xe-135 m	8,0	15,6 m	Xe-135	9,2 h
			Cs-135	2,5 X t0~ a
Xe-138 m	26,7	17,0 m	Cs-138	32,2 m
Kr-87	15,7	1,27 h	Rb-87	4,7 X 10 ¹⁰ a
Kr-83 m	2,4	1,86 h	Kr-83	
Kr-88	17,4	2,80 h	Rb-88	17,8 m
Kr-85 m	5,8	4,39 h	Kr-85	10,76 a
Xe-135	17,6	9,2	Cs-135	2,5 X 10~ a
X-133 m	0,2	2,26 d	Xe-133	5,27 d
Xe-133	5,0	5,27 d		

Edelgase 100.0

Quelle: Kernkraftwerk Gundremmingen; Betriebsgutachten TÜV-Bayern, 1966.

Die radioaktiven Emissionen aus dem Schornstein von Kernkraftwerken sind die Folge von undichten Stellen ("pin-holes", Haarrissen usw.) in den Brennstabhüllen. So gelangen die gasförmigen Spaltprodukte aus dem Brennstoff in das Primärkühlsystem, aus dem sie über die Kreislaufentgasung (siehe Abb. 39) abgeleitet werden. Die Hauptaktivität stammt dabei von verschiedenen Edelgasisotopen (siehe Tab. 84), insbesondere Xenon- und Krypton-Nukliden, aber auch von Jod-131. Wie die Erfahrung zeigt, werden die Lecks in den Brennstabhüllen durch die Neutronen-, Beta- und Gammastrahlung sowie durch die thermische Wechselbeanspruchung während des Reaktoreinsatzes zahlreicher und größer. Dementsprechend erhöht sich auch die Menge abzugebender Aktivitäten.

Mit den Spaltproduktgasen, die bei Bedarf über Verzögerungsleitungen gehen, werden auch radioaktive Aerosole in die Atmosphäre freigesetzt. Wegen ihrer elektrischen Ladung lagern sich auch die emittierten Edelgase an Staub- und Aerosolteilchen in der Luft an. Daraus resultiert eine im Ausmaß etwas unterschiedliche, vom Prinzip her jedoch gleiche "hot-particle"-Problematik, wie sie bereits besprochen wurde.

In der Gesamtheit nukleartechnischer Anlagen ist die Aufarbeitung jener Industriezweig mit der stärksten radioaktiven Umweltbelastung. Besondere Aufmerksamkeit verdient dabei das Spaltprodukt-Edelgas Krypton-85. Es wird bei der Behandlung des verbrauchten Brennstoffs freigesetzt und vollständig an die Atmosphäre abgegeben. Wegen seiner Halbwertszeit von etwas mehr als 10 Jahren wird langfristig mit einem starken Anstieg der Krypton-85-Konzentrationen in der Luft gerechnet. Man schätzt, daß allein durch dieses Nuklid im Laufe von ungefähr zwei Generationen die bisherige natürliche Strahlenbelastung verdoppelt wird, vorausgesetzt, daß es sich in der Lufthülle der nördlichen und südlichen Hemisphäre gleichmäßig verteilt (siehe Abb. 40).

Abbildung 39

Betriebseinrichtungen zum Beherrschen der Aktivität bei einem Druckwasserreaktor von 1000 MWe

Quelle: H. MANDEL, 1971, S. 22; zit. nach *Jahrbuch für Atomwirtschaft* 1972, S. 275.

Abbildung 40

Strahlenbelastung der Körperoberfläche durch Krypton-85

Quelle: Zusammenstellung der Autoren nach verschiedenen Veröffentlichungen.

Um diese Entwicklung zu verzögern, werden verschiedentlich Rückhaltetechniken diskutiert, denen im allgemeinen jedoch folgende Schwierigkeiten entgegenstehen:

- Wegen Konkurrenzreaktionen mit anderen Edelgasen bzw. Komponenten der Luft wird die Effizienz der Verfahren stark verringert.
- Es werden undifferenziert alle Kryptonisotope angereichert, auch die inaktiven (die mittelbar ebenfalls bei der Kernspaltung entstehen und die auch in der Luft enthalten sind), und nicht nur selektiv das aktive Krypton-85. Dadurch werden die Raumerfordernisse für die Lagerhaltung um ein Mehrfaches erhöht.

- Die einzelnen Verfahren sind energie- und materialaufwendig. Dadurch vermindert sich die Nettoleistung nuklearer Stromerzeugung und im weiteren wird die Wirtschaftlichkeit von Kernkraftwerken verschlechtert.

Die flüssigen aktiven Abfälle haben ihren Ursprung in radiochemischen Labors und Anlagen und in undichten Leitungssystemen und -verbindungen bei den Kernkraftwerken und bei der Brennstoffaufarbeitung. Ist der Gehalt an Spaltprodukten und anderen aktiven Stoffen, z. B. Korrosions- und Aktivierungsprodukten, gering, dann werden die Abwässer – mehr oder minder stark verdünnt – direkt in die Oberflächengewässer eingeleitet (siehe Tab. 85).

Tabelle 8 5

Verteilung radioaktiver Nuklide ^{a)} im Kühlwasserauslauf des Kernkraftwerks Gundremmingen an der Donau nach Untersuchungen der Bayerischen Biologischen Versuchsanstalt

relativer Anteil radioaktive Folgeprodukte					
Nuklid (in %)	Halbwertszeit	Nuklid	Halbwertszeit		
Co-58h) 6,3	71,3 d				
Co-60b) 3,8	5,26 a	-	-		
Sr-89	30,3	52	d		
Sr-90	4,0	28,1	a	Y-90	64 h
Zr-95	0,1	65	d	Nb-95	35,15 d
Ru-103	0,2	39,6	d	Rh-103	m 57 m
Ru-106	0,7	367	d	Rh-106	30 s
J-131	20,6	8,07	d	Xe-131 mC)	11,8 d
Cs-137	29,1	30,23	a	Ba-137	m 2,55 m
Ba-140	4,1	12,8	d	La-140	40,22 h
Ce-144	0,8	284,9	d	Pr-144	17,3 m

Quelle: Kernkraftwerk Gundremmingen; Betriebsgutachten TÜV-Bayern, 1966.

a) Diese Angaben enthalten kein Tritium; man rechnet bei einem Leichtwasserreaktor mit einer jährlichen Abgabe von rund 1 Ci Tritium pro Megawatt elektrischer Nettoleistung (MWe).

b) Durch Neutronenbestrahlung aktiviertes Kobalt aus Konstruktionsbestandteilen. r) Zerfallsausbeute < 0,01 %.

Ist die Aktivitätskonzentration höher, wird den Abwässern ein Teil der radioaktiven Stoffe über die chemische Aufbereitung entzogen und bei diesem Prozeß in verschiedene Fällungsmaterialien eingelagert, die als Schlämme von mehr oder minder zäher Konsistenz einen Teil des festen, aktiven Abfalls aus Kernkraftwerken ausmachen. Den anderen Teil bilden Ionenaustauscherharze, an die die nichtflüchtigen ionogenen Spaltproduktverunreinigungen des Primärkühlmittels Wasser absorbiert sind. In einem 1000 MWe-Leichtwasserreaktor fallen täglich 1 - 2 Blechtonnen voll festen Abfalls an. Mit keinem dieser (Ionenaustausch, Fällung), noch mit einem anderen praktikablen Verfahren kann das Tritium aus dem Abwasser entfernt werden. Dieses betaaktive Wasserstoffisotop mit einer Halbwertszeit von 12,26 Jahren wird aus Kernkraftwerken und Aufbereitungsanlagen deshalb vollständig, und zwar in Mengen zwischen 1000 und 6000 Curie pro Reaktorbetriebsjahr, in die Oberflächengewässer eingeleitet.

Die Wiederaufbereitungsanlagen behandeln den verbrauchten Brennstoff (Uran, Plutonium und Spaltprodukte, siehe Tab. 86) nicht nur aus einem, sondern aus vielen (bis zu etwa fünfzig) Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren.

Tabelle 86

Spaltstoffinhalt abgebrannter Brennelemente von Leichtwasserreaktoren

Quelle: Nach: JAHRBUCH DER ATOMWIRTSCHAFT 1972: erweitert.

Die Aufarbeitung der Brennelemente erscheint zunächst nicht als zwingende Notwendigkeit, ja im Hinblick auf den hochaktiven Atommüll sogar als widersinnig. Die kontrollierte Lagerung der abgebrannten Brennelemente wäre ein wesentlich einfacheres Verfahren der Abfallbehandlung als die gegenwärtig geübten. Da jedoch der Wert des im Brennelement verbleibenden restlichen Spaltstoffs sowie des neugebildeten Plutoniums höher veranschlagt wird, als die Aufarbeitungs- und zusätzlichen Lagerkosten, rentiert sich die Behandlung der abgebrannten Brennelemente.

Man hat es bei der Aufarbeitung in der Regel mit überaus hochaktiven Lösungen langlebiger Stoffe in Mineralsäuren (Salpetersäure, Flußsäure, Schwefelsäure) und organischen Extraktionsmitteln (z. B. Hexon = Methylisobutylketon, u. a.) zu tun. Nach Ablauf aller chemischen Reaktionsschritte liegen, von Abgasen und Abwässern abgesehen, in der Hauptsache folgende Produkte vor:

- Uranoxid mit einem Gehalt von ungefähr 0,5 - 0,7 % an U-235. Dieses Produkt ist für den Reaktoreinsatz nicht geeignet, sondern muß wieder die Anreicherungskaskaden zur Isotopentrennung durchlaufen.
- Plutonium als Nitrat. Es enthält neben dem Isotop 239 (Hauptmenge) auch noch die höheren Isotope 240, 241 und 242 (Nebennengen bzw. Spuren). Der

verarbeitungsbedingte Verlust von Plutonium in den Aufarbeitungsanlagen beträgt etwa 1 % der eingesetzten Menge. Obwohl Plutonium auch in den Leichtwasserreaktoren als Brennstoff verwendet werden könnte, wird es heute in der Regel nicht in die Brennelementerzeugung rückgeführt, sondern gelagert. Die geplante Brütertechnologie ist auf einen entsprechenden Vorrat an Plutonium als spaltbares Material angewiesen. Vereinfacht formuliert: ohne Leichtwasserkernkraftwerke kein Brütergeschäft. Die zuweilen geäußerte Meinung, Plutonium aus Leichtwasserreaktoren sei zur Herstellung von Atomwaffen nicht geeignet, ist falsch.

- **Atommüll.** Das ist kein fester Stoff, sondern eine stark salpetersaure Lösung der Spaltprodukte. Die hohe Aktivität von 1000 - 3000 Curie pro Liter und die vom Wasser absorbierte Energie des radioaktiven Zerfalls bewirken eine intensive Selbsterhitzung. Diese Flüssigkeiten werden auf Tankanlagen in Edelstahlbehältern mit einem Fassungsvermögen von ca. 100 000 Litern aufbewahrt (Abb. 41). Ohne Abfuhr der Zerfallswärme (bis über 10 kcal pro Stunde je Liter) würde die Salpetersäure innerhalb von 4 - 8 Tagen völlig verkochen und der trockene Rückstand zu glühen beginnen und schmelzen. Die Lagertanks benötigen daher über viele Jahre eine ununterbrochene Kühlung. Gleichzeitig muß eine Preßluftumwälzung verhindern, daß sich feste Bestandteile am Boden absetzen und der Behälterinhalt durch örtliche Überhitzung explosionsartig verdampft. Durch Strahlenkorrosion und Säureeinwirkung werden die Tankwandungen angegriffen und schließlich undicht. Die Folge: der Atommüll muß periodisch umgelagert werden. Diesen zwingenden Erfordernissen steht in der Praxis beispielloser Leichtsinn und Unfähigkeit gegenüber, wie sich oft – und oft wiederholt –, z. B. in Hanford (USA), gezeigt hat. Da die Lebensdauer dieser Radioaktivität die damit befaßten Institutionen zeitlich um ein Vielfaches zu übertreffen vermag, erheben sich im Fall ihrer Reorganisation oder Auflösung die über die technischen Probleme weit hinausreichenden Fragen von Zuständigkeit, Verantwortung und Finanzierung für das verbleibende Atommüll- und Abfall-Management.
- **Mittel- und niedrigaktive Abfälle mit langlebigen Radionukliden hoher Radiotoxizität,** insbesondere transuranelementhaltige Rückstände aus den Labors und der Aufarbeitung. Das alphaaktive Plutonium wird darin meistens noch von beta- und gammaaktiven Nukliden begleitet. Wegen der langen Halbwertszeit des Plutonium-239 von 24 000 Jahren müssen diese Abfälle mehrere 100 000 Jahre von den Lebewesen und Nahrungskreisläufen ferngehalten werden. Von den technologischen Schwierigkeiten einer solchen Lagerhaltung zunächst abgesehen, bedeutet dies zumindest, daß der Ort der Deponierung über diesen Zeitraum nicht vergessen werden darf. Daß diese "heiße Ware" gegenwärtig zuweilen noch unter der verschleiernnden Bezeichnung "Versuchsversenkung" ins Meer geworfen wird, ist von der Vorgangsweise her gleichermaßen bezeichnend wie bedenklich.

Über die Endlagerung mittel- und hochaktiven festen Abfalls aus Kernkraftwerken und Aufbereitungsanlagen herrscht wachsende Uneinigkeit. Bis vor wenigen Jahren glaubte man, in der Deponie in stillgelegten Salzbergwerken die optimale Lösung zur "Beseitigung" verfestigten Atommülls und des radioaktiven Schrotts, wie er bei der Stilllegung eines Kernkraftwerkes anfällt, gefunden zu haben. Ein kritisches Überdenken aller Faktoren hat jedoch dazu geführt, daß gegenwärtig in den Vereinigten Staaten ein alternatives Verfahren entwickelt und stark favorisiert wird, nämlich die oberirdische Lagerung in trockenen Gebieten unter anderem wegen der besseren Zugänglichkeit zu den einzelnen Lagerpositionen und einer leichteren Kontrollierbarkeit.

Spekulative Abfallbeseitigungsverfahren, z. B. mit Raketen in den Weltraum oder in die

Sonne, haben als hypothetische "Expertenvision" im besten Fall Propagandawert. Sie sind jene Tarnwand, die die realen Schwierigkeiten der Gegenwart und der absehbaren Zukunft verdecken soll.

3.3.3 Die Problematik der höchstzulässigen Dosen

Die Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection; abgekürzt ICRP) bezwecken eine Begrenzung der somatischen Schädigung von Einzelpersonen und der genetischen Schädigung der Gesamtbevölkerung. Gemäß dem obersten Leitsatz des Strahlenschutzes (der seine Begründung in der gesundheitsschädigenden Wirkung selbstkleinster Dosen hat) soll die Strahlenbelastung in jedem Fall "so gering wie möglich" gehalten werden.

Für beruflich strahlenexponierte Personen empfiehlt die ICRP folgende höchstzulässige Dosen:

Gonaden (Keimdrüsen) und rotes Knochenmark (und der ganze Körper im Fall gleichmäßiger Bestrahlung)	5 rem/Jahr
Haut, Schilddrüse, Knochen	30 rem/Jahr
Hand und Unterarme, Füße und Knöchel	75 rem/Jahr
alle anderen Organe	15 rem/Jahr

(ICRP, Publikation 9, S. 10)

In dieser Zusammenstellung spiegeln sich die praktischen Erfordernisse der Nuklearindustrie wider. Darüber hinaus stellen die angegebenen Zahlen als fiktive Rechengrößen die Arbeitsgrundlage zur Ermittlung der "maximal zulässigen Konzentration (MZK)" von Radionukliden in Trinkwasser und Atemluft dar.

Die für begrenzte Personengruppen (z. B. im Umkreis von Kernkraftwerken und nukleartechnischen Anlagen) zulässigen Dosiswerte und Radionuklidkonzentrationen werden von der ICRP um den Faktor 10 niedriger angesetzt. Die Anwendbarkeit der MZK-Werte außerhalb des kontrollierten Bereichs ist infolge der unzureichenden Beherrschbarkeit mancher Parameter fragwürdig und nicht selten anfechtbar.

"Das Ausmaß, um das die Grenzdosen für Einzelpersonen in der Bevölkerung geringer sein sollten als die für Strahlenarbeiter festgesetzten, hängt von Faktoren ab, für die keine allgemein anerkannten quantitativen Werte bestehen. Jedenfalls wird es zum Zweck der Planung für dienlich erachtet, die Grenzdosen für Einzelpersonen in der Bevölkerung um einen Faktor 10 niedriger anzusetzen als diejenigen für Strahlenarbeiter. Der Größe dieses Faktors sollte keine übertriebene biologische Bedeutung beigemessen werden, da gegenwärtig die strahlenbiologische Kenntnis in dieser Hinsicht unzureichend ist" (ICRP Publikation 9, S. 8).

Für die Gesamtbevölkerung empfiehlt die ICRP den Reduktionsfaktor 30. Dabei handelt es sich um eine auf längere Sicht schwerwiegende Entscheidung:

"Es ist von allergrößter Bedeutung, daß jetzt nichts geschieht, das sich später als ernste Gefahr herausstellt, wenn eine Korrektur nicht mehr möglich oder extrem kostspielig sein würde" (ICRP, Publikation 9, S. 15).

Aufgrund dieser Feststellung erwartet man eine stichhaltige Begründung, warum gerade der Wert von 5 rem als höchstzulässige Strahlenbelastung pro Generation (zusätzlich zu natürlicher Umweltstrahlung und medizinischer Exposition) empfohlen wird. Die ICRP führt dazu aus:

"Die Kommission ist der Ansicht, daß dieser Wert (5 rem pro Generation) einen vernünftigen Spielraum für die Atomenergieprogramme der absehbaren Zukunft schafft. Es sollte hervorgehoben werden, daß dieser Wert möglicherweise wegen der Unsicherheiten in der Abschätzung der möglichen Schäden und der wahrscheinlichen Vorteile kein richtiges Gleichgewicht zwischen Schäden und Nutzen repräsentiert" (ICRP, Publikation 9, S. 15).

Diese Dosisfestsetzung wurde also nicht primär mit dem Ziel vorgenommen, die Schädigung der Volksgesundheit auszuschließen, sondern der Kerntechnik einen "vernünftigen" Spielraum zur Expansion zu schaffen.

Die Unsicherheiten in der Abschätzung sind grundlegender Art, gilt es doch, Gesundheitsverlust dem Profit auf das eingesetzte Kapital gegenüberzustellen, wobei der wirtschaftliche Nutzen hochgradig privatisiert und der Schaden sozialisiert wird. Den künftigen Atomstrom-Konsumenten wird die Information über Schäden durch radioaktive Emissionen und Abfälle vorenthalten. Vielfach erfolgt systematisch falsche Information. Bisher vorliegende Ansätze zur Berücksichtigung der Gesundheitsschäden erfassen nur die medizinischen Behandlungskosten, lassen aber die menschliche Seite des Problems völlig außer acht (z. B. BEIR-Report, 1 972).

Mit der kritiklosen Annahme der Empfehlung der ICRP laden sich die entscheidungsberechtigten öffentlichen Stellen, Beamten und Politiker eine Verantwortung auf, deren Tragweite ihnen nicht bewußt zu sein scheint.

(1) Die Rolle des Strahlenschutzes

Um den praktischen Strahlenschutz besser zu verstehen, ist es nützlich, zwischen seinen Funktionen und dem dazu notwendigen organisatorischen Apparat zu unterscheiden.

Seine Aufgabe besteht darin, die Strahlenbelastung beim Umgang mit Strahlenquellen (z. B. in kerntechnischen Anlagen, in der medizinischen Radiologie usw.) zu begrenzen. Dazu werden, je nach der Gefahrenklasse des Arbeitsplatzes, Richtlinien für das Arbeitsverhalten vorgeschrieben. Außerdem sind entsprechende Maßnahmen bei Störfällen vorgesehen. Die Verbesserung von Methoden und Arbeitsabläufen sowie die Kontrolle ihrer Durchführung fallen ebenfalls unter die Obliegenheit des Strahlenschutzes, der ihr mit Aufwendungen für meßtechnische Einrichtung und dosimetrische Überwachung der Beschäftigten nachkommt.

Die mit Abluft und Abwässern in die Umgebung freigesetzten radioaktiven Stoffe werden mehr oder minder konsequent von den Überwachungsanlagen registriert. Daß dies nicht immer der Fall ist, geht aus der Affäre um den "Shippingport-Reaktor" bei Pittsburgh hervor, wo 1971 die Umgebung radioaktiv verseucht wurde und gleichzeitig offiziell Null-Emissionen vorgewiesen wurden (J. MICHELSON, 1973). Am 1. August 1969 wurde vom Kernkraftwerk Lingen (BRD) ein Mehrfaches der behördlich zugelassenen

Jahresgesamtmenge radioaktiver Stoffe in die Ems abgegeben. Trotz dieser Überschreitung haben die Behörden sich zu keinen relevanten Sanktionen veranlaßt gesehen.

Mit der Verteilung der Radionuklide in der Umwelt erlischt der Einfluß des Strahlenschutzes.

Gegenwärtig ist ein stürmisches Wachstum auf dem Gebiet der industriellen Anwendung der Kernspaltung zu beobachten, und diese Branche hofft, alle 6 Jahre ihre Umsätze zu verdoppeln. Das heute noch geringe Ausmaß der Kernenergieproduktion macht es verständlich, daß ihre Nebeneffekte noch nicht ernst genommen und, gemessen an anderen Umweltgefahren, als unerheblich abgetan werden.

Mit der Kerntechnik wachsen der Apparat des Strahlenschutzes und sein Einfluß in vielen Bereichen des öffentlichen Lebens. Dieser Einfluß wird eingesetzt, um über eine prinzipielle Bejahung und Förderung des Ausbaus der Kerntechnik dem Bestreben des Strahlenschutzapparates nach Selbstvergrößerung und bürokratischer Machtausweitung zu dienen.

Ein treffendes Beispiel für diesen Sachverhalt lieferte D. W. MOELLER (1971), der als Präsident der renommierten amerikanischen Health-Physics Society (Strahlenschutzgesellschaft) einen Appell an die Mitglieder richtete und sie aufforderte, sich mit ganzer Kraft für die Propagierung der Kerntechnik einzusetzen, weil nur dann die Führerrolle der Health-Physics-Society zu erhalten und auszubauen sei. Er ließ keinen Zweifel an den Prioritäten des institutionalisierten Strahlenschutzes und schloß seinen Appell mit dem Sprichwort: "Let us put our mouth where our money is" oder: "Wes Brot ich eß, des Lied ich sing" (mit dem nicht unwichtigen Unterschied, daß die Privilegierung der anpassungsbereiten "Spitzen" der Wissenschaft und der Bürokratie in den Staats, Partei- und sonstigen Apparaten und Institutionen durch "Brotessen" nur sehr vage angedeutet ist).

Mit dieser Entwicklung ist zwingend eine Erhöhung der Strahlenbelastung der Gesamtbevölkerung verbunden, was zeigt, daß der praktische Strahlenschutz seine oberste Maxime, die Strahlenbelastung so gering wie möglich zu halten, zur Leerformel entwertet hat. Es ist daher nicht weiter verwunderlich, wenn Kritiker, die die Nichtausweitung und Nichtanwendung der Kernenergie aus dem Bereich des Möglichen nicht ausschließen, mit empfindlichen Reaktionen bis heftigen Anfeindungen aus dem institutionalisierten Strahlenschutz Bekanntheit machen

(2) Die nukleare Kontroverse

Die Anfänge der öffentlichen Diskussion über Radioaktivität und Gesundheit reichen in die zweite Hälfte der Fünfzigerjahre zurück, als der weltweite radioaktive "Fallout" aus den atmosphärischen A-Bomben-Tests der Supermächte seinen ersten Höhepunkt erreichte. In dieser Zeit veröffentlichten viele hervorragende Wissenschaftler Studien über die mit einer Erhöhung der Strahlenbelastung verbundenen Gesundheitsschäden (siehe z.B. L. PAULING, 1958), und motivierten die Öffentlichkeit so stark, daß ein Atombomben-Teststop erreicht wurde. Als jedoch die Sowjetunion 1961 neue umfangreiche atmosphärische Testserien unternahm, folgten die USA sofort diesem Beispiel. Die Nevada-Tests setzten erhebliche Mengen von Spaltprodukten frei, und insbesondere in Utah kam es wiederholt zu starken Verseuchungen der Milch mit Radiojod. Die US Atomenergiekommission (USAEC) sah sich deswegen wachsender öffentlicher Kritik ausgesetzt. Um die Tests nicht abbrechen zu müssen, versuchte die USAEC die Bevölkerung dadurch zu beruhigen, daß sie ein

großangelegtes biomedizinisches Programm ankündigte, das zeigen sollte, wie ernst man die Gefährdung nahm.

Die Leitung dieses Programms, das die Effekte freigesetzter Radioaktivität auf die Biosphäre mit besonderer Berücksichtigung des Menschen zum Ziel hatte, übernahm J. W. GOFMAN (Professor der medizinischen Physik an der Universität Berkeley). Insbesondere sollten Methoden erarbeitet werden, die es gestatten, aus der im Rahmen verschiedener Atomenergieprogramme freigesetzten Radioaktivität die auf den Menschen wirkenden Dosen und die resultierenden Effekte abzuschätzen. Eines der Lieblingsprogramme der USAEC war das "Plowshare-Programm", das Atombombenexplosionen zu friedlichen Zwecken ("geographical engineering", Sprengen von Erdgaskavernen etc.) vorsieht. E. TELLER, "Vater der Wasserstoffbombe" und leidenschaftlicher Befürworter des Plowshare-Programms, forderte damals J. W. GOFMAN auf, sein Prestige für eine Erhöhung der höchstzulässigen Dosen auf das Dreifache einzusetzen, sodaß Plowshare ein "wirklich gutes Programm" haben könne (A. R. TAMPLIN und J. W. GOFMAN, 1970, S. 89).

1969 publizierten J. W. GOFMAN und A. R. TAMPLIN ihre Berechnungen, wonach in den Vereinigten Staaten jährlich 16 000 bis 32 000 Menschen zusätzlich an Krebs und Leukämie sterben würden, falls die für die Bevölkerung höchstzulässig Dosis (5 rad in 30 Jahren) erreicht würde, und sie verbanden damit die Empfehlung einer Reduktion der Strahlenstandards um den Faktor 10 bis 20. Die Einsicht, daß die geltenden Strahlenschutzrichtlinien keine absolute Sicherheit gewähren, war an sich nicht neu. Neu war die Konsequenz und der Einsatz zweier Wissenschaftler innerhalb des mächtigen Apparates der AEC, dieser Einsicht Öffentlichkeit und dadurch Geltung zu verschaffen. Auf viele, die den häufigen beruhigenden Informationen der AEC Glauben geschenkt hatten, wonach die unterhalb der Limits liegenden Dosiswerte unschädlich seien, wirkte diese – neue – Risikoabschätzung schockierend.

J. W. GOFMAN und A. R. TAMPLIN wurden heftig kritisiert und persönlich angegriffen, ihrer Aufforderung zur sachlichen Diskussion ihrer Berechnungen ist die AEC jedoch nicht nachgekommen. Aus diesen Gründen haben sich die beiden Wissenschaftler mit 2 Büchern an die Öffentlichkeit gewandt (A. R. TAMPLIN und J. W. GOFMAN, 1970, J. W. GOFMAN und A. R. TAMPLIN, 1971). Darin haben sie insbesondere den Übelstand hervorgehoben, daß die Förderung der Kernindustrie einerseits und der Schutz der Bevölkerung vor den Auswirkungen der Kernindustrie andererseits in ein und derselben Organisation (USAEC) vereinigt sind.

Diese Öffentlichkeitsarbeit hat entscheidend dazu beigetragen, daß die Kompetenz zur Festsetzung von Standards für Emissionen von radioaktiven Stoffen der Environmental Protection Agency (EPA) übertragen und die höchstzulässigen Emissionen kommerzieller Leichtwasserreaktoren um den Faktor 100 reduziert wurden. Die Verminderung der höchstzulässigen Emissionsraten, die eine maximale Belastung von Personen außerhalb eines Kernkraftwerks von 5 Millirem pro Jahr zugrunde legen (für Zwentendorf ist mit einer Auslegung von 10 Millirem pro Jahr zu rechnen), ist zwar begrüßenswert, doch ist hervorzuheben, daß dieser Standard keinen Bezug zu anderen wesentlich stärker umweltverseuchenden Abschnitten des Brennstoffzyklus hat. Man hat also mit einer erheblichen Dosisreduktion, die aber nur für einen relativ gut kontrollierbaren Teil des Brennstoffzyklus gilt, der öffentlichen Kritik zunächst soviel Wind aus den Segeln genommen, daß man viel heikleren – und die Wirtschaftlichkeit der Kernindustrie ernsthaft gefährdende – Fragen, wie der längst fälligen Reduktion der höchstzulässigen Dosen für beruflich strahlenexponierte Personen, ausweichen konnte.

Wie Beispiele aus der Praxis der Kernindustrie zeigen, werden Strahlenarbeiter häufig bis an die Grenzen der maximal zulässigen Werte belastet, wenn sie Wartungs- und Reparaturarbeiten an schwer zugänglichen strahlenverseuchten Stellen ausführen müssen.

In der Vergangenheit wurden mehrere Fälle aus den Kernanlagen Doodeward (Holland, Winfrieth und Dounray (Großbritannien) bekannt, wo Hunderte Betriebsangehörige und kurzfristig Beschäftigte, im wesentlichen Fremdarbeiter ("nukleare Tagelöhner"), bis an die Grenzen der gesetzlich maximal zulässigen Strahlendosis belastet wurden.

Ein weiterer Bereich der nuklearen Kontroverse umfaßt die Frage, ob die im Umkreis mancher amerikanischer Kernanlagen aufgetretene Zunahme der Kindersterblichkeit und vieler anderer Defekte (vermindertes Geburtsgewicht, Mißbildungen etc.) auf die radioaktiven Emissionen zurückzuführen sind, wie dies E. J. STERNGLASS (z. B. 1972 a, 1972 b) beschreibt, oder auf andere, noch unbekanntere Ursachen. Wegen des brennenden Interesses an dieser Frage werden in den Vereinigten Staaten seit einiger Zeit Studien angestellt, die sich mit den von E. J. STERNGLASS geschilderten Phänomenen beschäftigen, da es trotz zahlreicher Kritik bisher nicht gelungen ist, seine Befunde, die aus strahlenbiologischen Erwägungen heraus möglich und zu erwarten sind, zu widerlegen.

Solche epidemiologischen Untersuchungen werden jedoch nicht uneingeschränkt befürwortet. So gibt es z. B. im Raum von Karlsruhe eine erhöhte Krebsmortalität. Die Forderungen der Betroffenen, die Ursachen dieser erhöhten Sterblichkeit aufzudecken, widersprechen den Interessen der beiden möglichen Verursacher: Petrochemische Werke und Kernforschungszentrum Karlsruhe. Um kostspielige Maßnahmen zu verzögern und den gegenwärtigen Zustand zu erhalten, begnügen sich diese beiden potenten Gruppen damit, jeweils den anderen für die erhöhte Krebssterblichkeit die Schuld zuzuschreiben (H. WÜSTENHAGEN, 1974).

Es ist bezeichnend für die Qualität der bestehenden Interessensvertretungen der Bevölkerung und für die Behörden, daß sie bei diesem "Spiel" mitmachen.

3. 3. 4 Energiepolitik in Österreich

Der zentrale Leitsatz der österreichischen Energiepolitik besteht in folgender Aussage: "Es ist eine Tatsache, daß sich der Stromverbrauch in Österreich alle 10 Jahre verdoppelt und danach müssen wir uns richten" (I. LEODOLTER, Minister für Gesundheit und Umweltschutz, 1972).

Mittlerweile stehen aber Zitate der Frau Bundesminister zur Verfügung, die in der Öffentlichkeit leider wesentlich weniger bekannt wurden als jener unglückliche Ausspruch, an dem sich unsere seinerzeitige Kritik entzünden mußte:

"Die Ausbeutung der Kernspaltung als Quelle elektrischer Energie reibt sich in zunehmendem Maße mit dem Antagonismus zwischen Sicherheit und Gefahr. Bei der Verwendung fossiler Energieträger aber werden bereits die Grenzen der Endlichkeit sichtbar. Auch in diesem Zusammenhang sind neue Überlegungen, neue Denkmodelle geboten. Wir werden uns davon lösen müssen, Prognosen als Fortsetzung der bisherigen Entwicklung zu stellen, unsere Wirtschaftsentwicklung danach auch für die Zukunft auszurichten und damit – selbststimulierend – neuen Bedarf zu wecken. Wir werden innerhalb der Grenzen des Möglichen und Vernünftigen überlegen müssen, wieviel Energiewachstum wir erreichen können und wollen. Und wir werden mit allen Konsequenzen daraus planen müssen" (I. LEODOLTER, 1975, S.

2).

Es ist bemerkenswert, zu verfolgen, mit welchem großem Erfolg die Atomstrom-Propaganda in der breiten Bevölkerung bezüglich der fossilen Brennstoffe Kohle und Erdöl eine latente bis tiefgreifende Verknappungsangst auszulösen vermochte. Da kerntechnische Anlagen ferner keine sichtbaren Schadstoffe emittieren, nutzen die Produzenten von Kernkraftwerken das aufkommende Umweltbewußtsein, um die Kernenergie als Wegbereiter eines aktiven Natur-, Umwelt- und Landschaftsschutzes anzupreisen.

Kernkraftwerke sind jedoch nicht in der Lage, den starken Verbrauchsschwankungen zu folgen. Sie liefern eine gleichbleibende Strommenge: die Grundlast. Der Stromverbrauch unterliegt aber im Tagesverlauf starken Schwankungen mit Spitzenwerten zu Mittag und – schwächer – am Abend. In der Nacht ist der Stromverbrauch am geringsten. Der benötigte Spitzenstrom kommt hauptsächlich aus den Speicherkraftwerken der Gebirgstäler. Vermehrte Grundlastproduktion erfordert erfahrungsgemäß auch die vermehrte Erzeugung von Spitzenstrom. Wird somit Grundlast vermehrt in Kernkraftwerken gewonnen, müssen gleichzeitig Täler verbaut und Flüsse umgeleitet werden, um Speicherkraftwerke für die Verbrauchsspitzen zu errichten. Anders ausgedrückt: Kernkraftwerke sind keine naturschonende Stromproduktionsalternative, sie sind vielmehr der Grundstein etlicher Betonstaumauern in unseren Alpentälern. Angesichts dieses Zusammenhanges ist es auch nicht verwunderlich, daß die Forderung nach Demokratisierung des Wasserrechtes (Parteienstellung und Mitbestimmungsrecht durch die Betroffenen im weitesten Sinn) den Interessen der Elektroversorgungsunternehmen widerspricht und von diesen daher scharf abgelehnt wird.

Dies führt uns direkt zur Interessenslage auf dem Energiemarkt. Die Elektrizitätsversorgungsunternehmen, genauer ihre Manager und Kapitalbeteiligten (z. B. Energieanleihe-Zeichner, Gebietskörperschaften usw.) profitieren vom Verkauf elektrischer Energie und nicht von der Stromersparnis. Das Fehlen von Energie und Stromsparstrategien ist daraus unmittelbar abzuleiten.

Nicht Stromsparstrategien wurden entworfen, sondern es werden Strategien zur Steigerung des Verbrauches praktiziert. Energieverbrauch ist der Motor zur Durchsetzung wirtschaftlicher Interessen einer Minderheit. Der Bevölkerung wird eine gut überlegte Wahl auf Basis ausreichender Informationen über Konsequenzen und Alternativen vorenthalten. Vielmehr wird die Bevölkerung mit quasi kriminellen Methoden der Kernenergiepropaganda irreführt (kriminell vielleicht nicht im juristischen Sinn, wohl aber von der Sache her), um unüberlegte Erhöhungen des Stromverbrauchs durchzusetzen. Als Beleg diene die seinerzeit veranstaltete aufwendige Werbekampagne des "Verbandes der Österreichischen Elektrizitätswerke" im Sinne von "Arbeiten wir zusammen". In einem Flugblatt ohne Impressum – gilt das österreichische Pressegesetz auch für den "Verband der Elektrizitätswerke Österreichs"? – gipfelt die Kooperationsbereitschaft der Elektrizitätswerke mit Frau und Herrn Österreicher darin, daß sie vor die Schwarz-Weiß-Alternative – noch mehr Strom oder nie mehr Strom – gestellt werden (Abb. 42).

Bei einer inhaltlichen Auseinandersetzung ist man versucht, mit einem österreichischen Sprichwort zu replizieren: "Zu wenig und zu viel ist des Narren Ziel". Dies wäre jedoch eine gefährliche Verniedlichung des Problems. Die Präsentation und Form dieser erpresserischen Alternative – Verdoppelung alle 10 Jahre oder Verzicht – erhellt schlaglichtartig die rechtliche Machtverteilung, die streng konform geht mit der finanziellen Interessenslage der Energieprofiteure.

Anders als in anderen westlichen Staaten, wie z. B. den USA oder der BRD, hat der österreichische Staatsbürger in den Genehmigungsverfahren von Kraftwerken, insbesondere Kernkraftwerken, keine Parteienstellung. Im Strahlenschutzgesetz ist ihm diese Parteienstellung, die ihm nach der früher gültigen Gewerbeordnung zugebilligt gewesen war, ausdrücklich genommen. Genau betrachtet wurde mit der Schaffung des "Strahlenschutzgesetzes" das Gegenteil von dem juristisch verankert, was Schutz vor Strahlung erfordert: Die Bestrahlung der Bevölkerung – ohne medizinische Notwendigkeit – durch Kernkraftwerke und gewerbliche Anlagen ist seither erlaubt. Um dieser Regelung auch in ihrer Bezeichnung gerecht zu werden, müßte man das Strahlenschutzgesetz in "Bestrahlungserlaubnisgesetz" umbenennen. Daß der praktische Strahlenschutz österreichischer Prägung gewisser Kuriosa nicht entbehrt, sei hier nur am Rande vermerkt.

Im Verlauf des Genehmigungsverfahrens befindet sich der betroffene Staatsbürger in einem rechtelosen und demokratielosen Raum, während die Behörden – vor dem Hintergrund der wirtschaftlichen Interessen und diese (ver-)deckend – ihre Genehmigungsabsicht unbehindert realisieren. Es ist daher nicht weiter verwunderlich, daß die Planer von Kernkraftwerken öffentliche Diskussionen meiden, da sie die entscheidenden Instanzen in den prinzipiellen Fragen auf ihrer Seite wissen. So charakterisierte ein hoher Beamter die Zusammenarbeit zwischen Ministerium und Kernkraftwerksinteressenten als "ein sehr amikales Verhältnis"! Bei einem investierten Kapital in Höhe von 5 - 10 Milliarden Schilling je Kernkraftwerk läßt sich leicht errechnen, wie wertvoll dieses freundschaftliche Naheverhältnis für die Kraftwerksinteressenten ist. Inwieweit außerdem ein Zusammenreden nach dem Lotterieprinzip – "einmal machen sie (d. h. die Vertreter der Gemeinschaftskernkraftwerk Tullnerfeld Ges. m. b. H.) Konzessionen, dann wieder wir" (ein hoher Beamter des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz) – der vernünftigste Weg zu einem optimalen Schutz vor Gesundheitsschädigung weiter Bevölkerungskreise ist, bedarf dringend einer Überprüfung.

Außerdem wäre erforderlich zu prüfen, ob die Spitzen-Bürokratie immer nur "dem Gesetz" und ihrem Gewissen verpflichtet ist. Sich naiv auf "das Recht" zu verlassen, hat in der nuklearen Kontroverse schon vielen geschadet.

Ebenfalls einer Betrachtung wert scheint die Frage der Standortwahl, bei der der Schutz der Bevölkerung vor Schäden und Risiken hinter den Erfordernissen des Verbundnetzes und hinter oftmals nicht sehr plausibel begründeten Raumordnungsplänen zurücksteht. Eine Entscheidungsfindung, die nahezu ausschließlich auf die Expansionsinteressen eines Wirtschaftssektors Rücksicht nimmt und als "pragmatisch" hingestellt wird, ist bei den Problemdimensionen von Kernkraftwerken und kerntechnischen Anlagen denkbar ungeeignet.

Betrachten wir zunächst das Projekt Enns-Stein, in allernächster Nachbarschaft eines Industrieballungsgebietes und mitten in einem Industrieballungsgebiet – dazu kommt noch die unwiderstehliche Anziehungskraft eines ausgebauten Rhein-Main-Donau-Kanals auf die Schwerindustrie und den bekanntermaßen damit verbundenen Schadstoff-Emissionen. Gleichzeitig ist mit einer starken Besiedelung zu rechnen. Der heute bei oberflächlicher Betrachtung menschenleere Standort in Stein wird in absehbarer Zeit mitten im Industrieballungsraum einer bandförmigen Stadt Linz-Enns-Amstetten liegen. Auf die Abwärmelast der von einer Kraftwerkskaskade aufgestauten Donau soll hier nur am Rande eingegangen werden. Die Behauptung, konventionell- und nuklearthermische Kraftwerke unterscheiden sich in der Abwärmefrage nicht, ist falsch, und zwar aus folgenden Gründen:

- Ein Kernkraftwerk hat mehr als die zehnfache Kapazität eines konventionellen Kraftwerks. Dementsprechend erhöht sich auch die punktuell konzentrierte Abwärmeabgabe zunächst einmal von der Leistungsseite her.
- Wegen des geringen Nettowirkungsgrades des Kernkraftwerkes und einiger anderer technischer Details ist sein Kühlwasserbedarf um bis zu 60 % höher als bei einer gleichgroßen Kapazität konventioneller Einheiten.

Das warme Wasser ist spezifisch leichter und schwimmt auf der Oberfläche – insbesondere an den Staustellen der Donaukraftwerke, wo die Durchmischung schlecht ist. Dadurch mag die Eisbildung im Winter geringer sein, das sommerliche Zusammenwirken von Abfallwärme und Industrieabwässern machen dann aus der Donau das, was deutsche Flüsse heute streckenweise schon sind – eine faulende Brühe.

Die radiologischen Konsequenzen in einem solchen Ballungsgebiet sind gegenwärtig schlechthin nicht abzusehen. Obschon heute, wie bereits zitiert, Unterlagen darüber vorhanden sind, daß sich konventionelle und radioaktive Schadstoffe in ihrer Wirkung potenzieren, ist dies ein bei weitem nicht ausreichend untersuchtes Gebiet.

Im Hinblick auf die starke Steigerung der Bevölkerungsdichte in der Kraftwerksumgebung dürfen die Folgen eines schweren Unfalls nicht unberücksichtigt bleiben. So können Städte mit mehr als 10 000 Einwohnern selbst im Fall des schwersten denkbaren Unfalls (z.B. durch den Bruch des Druckkessels) in der Praxis nicht evakuiert werden. Die Gefahr, daß der Linzer Raum ebenfalls unter den Unfallfolgen zu leiden hätte, ist durch die spezifischen meteorologischen Gegebenheiten überaus hoch.

Hier wird ein interessanter gesellschaftlicher Mechanismus offenkundig: Wegen des unvergleichlichen Gefahrenpotentials werden in dicht besiedelten Gebieten weder Kernkraftwerke noch Prozeßwärmereaktoren errichtet. Gegen den umgekehrten Weg hingegen – zuerst Kernkraftwerksinstallation, dann Industrialisierung und Besiedelung – scheinen die notwendigen gesellschaftlichen Schutzinstanzen zu fehlen. Dies liegt einerseits daran, daß fernab jeder demokratischen Mitbestimmung Raumordnungspläne erstellt werden, die, wie es P. BLAU (1974) so treffend formulierte, "das Ruhrgebiet an der Donau" zum Ziel haben. Der andere Grund ist die völlige Fehleinschätzung des Ausmaßes nuklearer Gefahren in der Bevölkerung – aber nicht nur in der Bevölkerung.

Eine Sicherheitsphilosophie, die in den Satz mündet: "Risiko ist Schadenspotential mal Eintrittswahrscheinlichkeit", charakterisiert ihre Verfechter angesichts der Größenordnungen dieses Schadenspotentials – in jedem Einzelfall Hunderttausende von Toten und schwerst Geschädigten (K. H. LINDACKERS, 1970), ganze Landstriche irreversibel radioaktiv verseucht – als zynische Theoretiker oder entmenschte Techniker.

Während der potentielle Schaden offenkundig ist, feiert das technologische Wunschdenken bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit wahre Triumphe, wie die sogenannte "RASMUSSEN-Studie" zeigt. Diese, von der US-Atomic Energy Commission in Auftrag gegebene und am Massachusetts Institute of Technology (MIT) – dem modernen Delphi – ausgearbeitete Studie wurde von W. BRYAN (1974), Mitarbeiter am Apollo-Programm der NASA und an Atomraketen-Projekten der USAEC, als Musterbeispiel an Nutzlosigkeit beurteilt. Er begründet dies damit, daß die angewendete Fehlerbaum-Analysemethode seit langem von der Raumfahrtindustrie als ungeeignet aufgegeben worden sei, diejenige Art von Wahrscheinlichkeitswerten zu entwickeln, die die RASMUSSEN-Gruppe gerade haben

möchte. W. BRYAN unterstreicht, daß es innerhalb der USAEC Leute gäbe, die sehr genau wüßten, daß die RASMUSSEN-Studie nutzlos sei und keine wirklich aussagekräftigen Wahrscheinlichkeitsabschätzungen ergäbe. Er warf der RASMUSSEN-Gruppe außerdem vor, daß sie zunächst Wahrscheinlichkeitswerte für Reaktorstörfälle ausgerechnet hätte, die auf hohe Ausfallraten hinwiesen und daß sie dann mehrmals die Ausgangsdaten für die Ausfallraten gewechselt hätten.

Das Unfallausmaß ergibt sich mit aller Klarheit aus den Katastrophenplänen. Um die Kraftwerksanrainer nicht zu beunruhigen oder gar zu mobilisieren, werden diese Pläne – sofern vorhanden – in der Regel streng geheim gehalten.

In Deutschland wurden einige wenige Details aus einem solchen Katastrophenplan bekannt: Während Militär und Exekutive das verseuchte Gebiet hermetisch abriegeln (und Flüchtlinge mit Waffengewalt daran hindern, das Gebiet zu verlassen) wird die Bevölkerung im Inneren von der Polizei über Lautsprecherwagen aufgefordert "zum Schutz ihrer Gesundheit ... sich sofort in die Häuser zu begeben und alle Öffnungen wie Fenster und Türen zu schließen". Außerdem werden Flugblätter verteilt, die neben Verhaltensmaßregeln die besänftigende Bemerkung enthalten: "Es besteht kein Grund zur Aufregung." Und das ist auch richtig. Die Aufregung käme nämlich um Jahre zu spät.

Nicht viel weniger kritisch, dafür aber sehr viel wahrscheinlicher sind Unfälle, Entführung und Sabotage beim Transport der verbrauchten hochaktiven Brennelemente vom Kernkraftwerk in die Aufarbeitungsanlagen. Diese Frage wird sich in wenigen Jahren sehr stark aktualisieren, da die Kraftwerksdichte in Europa dann so hoch sein wird, daß sich geeignete Kontrollen als gesellschaftliches Problem ersten Ranges erweisen werden. Es muß nicht gesondert darauf hingewiesen werden, daß die Freisetzung radioaktiver Stoffe während des Transports – aus welchen Ursachen auch immer – unter anderem deshalb so gefährlich ist, weil bis zur Einleitung ausreichender Gegenmaßnahmen und eventueller Schutzvorkehrungen sehr viel Zeit verstreicht.

Der mittelaktive Abfall aus dem Kernkraftwerk bleibt in Österreich. Über den Ort, wo er gelagert werden soll, herrscht tiefes Schweigen – ein Aufruhr in der Bevölkerung wird befürchtet.

Der unbefangene Beobachter stellt sich allerdings die Frage, wieso die Abfalllagerung in Österreich erst jetzt aktuell wird, so doch, neben einer Fülle von Hochschulinstituten und etlichen Kliniken, im Reaktorzentrum Seibersdorf seit mehr als 10 Jahren mit radioaktiven Stoffen gearbeitet wird. Vor einigen Jahren wurde dort in einer Studie die Einrichtung einer österreichischen Lagerstelle für radioaktive Abfälle behandelt. Dort ist über die organisatorische Betreuung des Lagers nachzulesen:

"Die Lagerstelle soll zweckmäßigerweise von der SGAE (Studiengesellschaft für Atomenergie; d. V.) in behördlichem Auftrag eingerichtet und geführt werden. Die Verwaltung kann, z. B. durch das Institut für Strahlenschutz, von Seibersdorf aus besorgt werden. Personal ist an der Lagerstelle nicht vonnöten. Es genügt fallweise die Anwesenheit eines Technikers an der Lagerstelle zur Übernahme von Transporten.

Gegebenenfalls ist eine routinemäßige Inspektion des Abschlusses durch das nächstgelegene Gendarmeriekommando ausreichend" (K. SCHLOSSER, 1968, S. 33).

Insbesondere von einem verstärkten Engagement in der Kernenergieproduktion sollte man aus

dem Betrieb des in Bau befindlichen Kraftwerks Zwentendorf über einen längeren Zeitraum Erfahrungen sammeln – es darf nicht verhehlt werden, daß das Schicksal der Zwentendorfer Schwesterkraftwerke in Deutschland bezüglich Betriebssicherheit und Verfügbarkeit sehr nachdenklich stimmt.

Bleibt eigentlich noch die Frage: Was geschieht mit dem Zwentendorfer Kraftwerk, wenn es nach 10 bis 20 Jahren stillgelegt wird? In den USA kann auf Grund der Umweltschutzgesetze noch vor der Baugenehmigung ein detaillierter Plan für die Stilllegungsmodalitäten und die Beseitigung des radioaktiven "Innenlebens" gefordert werden. Die Kosten? Erste Kalkulationen ergaben, daß die Stilllegung annähernd so teuer ist wie die Errichtung des Kraftwerks. Da diese Kosten weit genug in der Zukunft liegen, gehen sie in keine der laufenden Kalkulationen ein. Und ob sie schließlich den Betreibern oder der Bevölkerung oder Gruppen davon zur Last fallen, ist bei der österreichischen Art der Elektrizitätsversorgung praktisch unerheblich.

Zur Frage der Kosten der Stromerzeugung in Kernkraftwerken ein kurzer historischer Exkurs: In den Anfängen der Kernenergieentwicklung in den USA hieß es, die neue Energiequelle sei so billig, daß die Stromzähler abgeschafft werden könnten. Diese ursprüngliche Propaganda für einen Strom, der zu billig sei, um gemessen zu werden ("too cheap to meter"), wirkt heute noch hartnäckig in der Bevölkerung, wenngleich in abgeschwächter Form. Wäre die nukleare Energieerzeugung tatsächlich so billig, daß man dafür nichts zu zahlen brauchte, dann könnten aus ihrer Produktion wohl kaum oder nur bescheidene Gewinne geschlagen werden. Unter profitwirtschaftlicher Organisation der Energieerzeugung wäre die Anwendung dieser Technologie also unterblieben.

Nun aber haben militärische "Vorausinvestitionen" großen Umfangs in die Uranförderung, chemische Aufbereitung und Anreicherung bestanden, deren Kapazität trotz verstärkten Wettrüstens aus mehreren Gründen zunehmend brachlag: Als spaltbares Material in den Nuklearwaffen wurde anstatt hochangereichertem Uran-235 zunehmend Plutonium-239 verwendet, dadurch wurde der energieaufwendige und daher teure Schritt der Urananreicherung übersprungen. Die Entwicklung der Wasserstoff- und der Dreiphasen-Bomben ("Superbomben") ermöglichte trotz erhöhter Zerstörungswirkung die Einsparung spaltbaren Materials, das nur noch als Zünder zur Auslösung der Explosion notwendig war.

Zu dieser militärisch orientierten Entwicklungsförderung der Kernenergiegewinnung gesellt sich in zunehmenden Ausmaß die direkte Subventionierung auf nationaler und internationaler Ebene von nicht primär militärisch ausgerichteten Bereichen. So wurden aufwendige Reaktor- und Kernforschungszentren installiert, in denen sich zunächst jene Disziplinen versammelten, die daraus praktische Vorteile zogen oder solche, die in den Hochschulbetrieb nicht einzugliedern waren (nachdem sie sich in den Kernforschungszentren etabliert hatten, gelang einem Teil von ihnen schließlich der Sprung an die Universitäten). Als dann das "wissenschaftliche Neuland" abgegrast war, verlagerte sich der Schwerpunkt der Arbeiten auf eine mehr oder minder streng anwendungsorientierte nukleare Zweckforschung. Vor der Öffentlichkeit wurde diese Entwicklung durch eine Imitation von Wissenschaftlichkeit getarnt, indem zum Beispiel eigene Publikationsorgane geschaffen wurden, in denen uninteressante Abfallprodukte dieser Zweckforschung zu wissenschaftlichen Spitzenleistungen hochstilisiert werden konnten.

Die Kosten dieser Kernforschungszentren sind sehr hoch: Die Bundesrepublik Deutschland hat bereits vor Jahren weit über 20 Milliarden Schilling aus Steuermitteln in die

Nukleartechnologie gesteckt, in Österreich liegt die Subvention allein des Reaktorzentrums Seibersdorf bei mehr als 250 Millionen Schilling pro Jahr. Neben den nationalen wurden auch internationale Einrichtungen auf diesem Gebiet installiert, zum Beispiel die Eurochemic in Mol, Belgien, die übrigens gegenwärtig – ebenso wie viele andere europäische Kernforschungszentren – in einer tiefen Krise steckt. Die Ursache dieser Krise ist finanzieller und struktureller Art – die Verluste dieser Einrichtung werden von den beteiligten Staaten getragen und fallen nicht einem einzelnen in der vollen Höhe zur Last, deshalb hat jeder versucht, die teuersten seiner Projekte in der Eurochemic-Anlage unterzubringen, um sie nicht im eigenen Land unterhalten zu müssen.

Ebenso wie bei verlustreichen Unternehmen ist auch bei risikoreichen Vorhaben die Flucht in die Internationalität als Mittel zur Durchsetzung zu beobachten. So wird zum Beispiel in Kalkar am Niederrhein an der Errichtung eines 300 Megawatt Prototyps eines schnellen natriumgekühlten Brutreaktors gearbeitet, an dem sich neben Deutschland noch eine Reihe anderer europäischer Staaten beteiligen. Gegen dieses Kraftwerk, das man in jeder Hinsicht als riskantes Großexperiment bezeichnen kann, leistet die Bevölkerung erbitterten Widerstand, und selbst eingefleischte Apologeten der Kernenergieentwicklung sehen in der Brutreaktortechnologie und ihren Folgeproblemen eine der größten Gefahren, die auf den Menschen zukommen. Trotzdem werden von den Betreibern und der Behörde die Genehmigungsverfahren in aller Härte durchgezogen, und im Lichte der Gesamtentwicklung erweist sich das in Deutschland existente Einspruchsrecht der Bevölkerung aus der Sicht der Kraftwerksinteressenten allenfalls als lästiges Detail.

Es wird hier etwas praktiziert, was man in seiner ganzen Bedeutung für die Durchsetzung von machtvollen Sonderinteressen gegen die Interessen der Bevölkerung klarlegen muß: Zwar wird der Bevölkerung vorgegaukelt, sie würde bei den Anhörungsterminen an einer demokratisierten Entscheidungsfindung teilnehmen. Jedoch ist die Genehmigungsabsicht der Behörden zumeist schon eine vorher beschlossene Sache. Es wird lediglich der Anschein einer demokratischen Öffentlichkeit erweckt. Schließlich kommen dann die mächtigen Interessen – der Nuklearbürokratie und der Kernindustrie – zum Durchbruch. Auf diese Weise wird zusätzlich verhindert, daß die Bevölkerung die Demokratisierung derartiger Entscheidungen als wünschenswertes Ziel ansieht, da sie die bittere Erfahrung hat machen müssen, daß trotz Engagement, Motivation und der besseren Gründe ohnehin das geschieht, "was die da oben wollen". Dies ist ein weiteres Beispiel dafür, daß das herrschende Recht das Recht der Herrschenden ist – wobei der Staatsbürger in der Illusion gehalten wird, der Souverän im Staat zu sein, wie es in der Verfassung steht.

Die Kostenlage auf dem Kernenergiesektor wird weitgehend durch verschiedene staatliche Subventionen (speziell für die Forschung) und durch die Kapazitätsauslastung alter Rüstungsanlagen, im besonderen bei der Anreicherungsindustrie, mitbestimmt.

Außerdem orientiert sich der Preis, solange die Kernenergie auf dem Markt noch keinen entsprechend großen Anteil errungen hat, noch an den Kosten der anderen Primärenergieträger wie Kohle, Erdöl usw. Durch die vielfältigen chemischen Prozeduren, die notwendig sind, um den Uranbrennstoff herzustellen sowie den radioaktiven Abfall zu behandeln, muß zur Kostenabschätzung der Kernenergie auch die Preisentwicklung bei den dazu erforderlichen Rohstoffen berücksichtigt werden. Als weiterer ökonomischer Aspekt sind die Zahlungsbilanzeffekte bei Uranförder- und Anreicherungsstaaten zu erwähnen.

Das komplexe und auch für "Experten" oftmals unklare Verhältnis zwischen wirtschaftlichen Kosten und Ertrag kann auch durch einige Überlegungen zum erforderlichen Aufwand an

Energie bei der Kernenergieerzeugung problematisiert werden: Bei der Verwendung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) ist der Sachverhalt sehr einfach: Sie werden gefördert, zum Kraftwerk transportiert und verbrannt, die Wärmeenergie wird im Generator zu etwa 40% in Elektrizität umgewandelt, die dann abzüglich des Eigenbedarfs und der Leitungsverluste den Verbrauchern zur Verfügung steht.

Weit weniger einfach liegen die Dinge in der Kerntechnik: Im Vollzug des Brennstoffzyklus (Abbildung 38) sind eine Reihe rohstoff- und energieaufwendiger Schritte notwendig. Die Anreicherungsanlagen sind jener Industriezweig, der zu den potentesten Elektrizitätsverbrauchern überhaupt zählt. Ebenso wie jeder andere Industriebereich stehen auch die Brennstoff- und Aufarbeitungsindustrien nicht freischwebend im Raum, sondern sie benötigen eine Fülle von Sekundär- und Tertiärindustrie, vorwiegend aus der Chemiebranche, zu ihrer Versorgung.

Das Uran wird aus dem Uranerz auf chemischem Weg extrahiert, anschließend wird es in seine Fluorverbindung umgewandelt, damit es in den Diffusionskaskaden der Isotopenanreicherung unterzogen werden kann: Das angereicherte Uranfluorid wird in das Oxid umgewandelt, das als Brennstoff in die Reaktorbrennelemente kommt, die ihrerseits wiederum aus hochwertigen Materialien bestehen, wie etwa hafniumfreien Zirkonlegierungen. Bei der Verwendung der Brennelemente im Reaktor, das heißt bei der Kernspaltung, entsteht ebenso wie in den fossilgefeuerten kalorischen Kraftwerken primär Wärmeenergie, die in den Turbinen zu etwa einem Drittel in Elektrizität umgewandelt wird. Der abgebrannte, verbrauchte Brennstoff kann nun aber nicht wie die Kohlenasche auf einer Halde gelagert werden, sondern er erfordert ebenfalls eine umfangreiche chemische Behandlung. Den Abschluß bildet die Wartung und Behandlung des hochaktiven flüssigen Atommülls in den Edeltankanlagen. Schätzt man nun ab, wie hoch der Energieverbrauch dieser Prozesse einschließlich jener in der Begleitindustrie ist, dann gelangt man zu dem Ergebnis, daß die im kerntechnischen Gesamtsystem verbrauchte Energiemenge einen wesentlichen Teil derjenigen ausmacht, die die Kernkraftwerke erzeugen.

Diese Abschätzung verschärft sich noch wesentlich zuungunsten der Wirtschaftlichkeit, wenn die Kernenergieproduktion quantitativ expandiert. Eben diesen enormen Wachstumsanspruch haben die Kernindustrie und ihre Zulieferfirmen angemeldet. Dadurch werden in ihrem Tätigkeitsbereich energieaufwendige infrastrukturelle Vorleistungen notwendig, die gesamtwirtschaftlich gesehen die Nettoerzeugung in den Kraftwerken weiter schmälern, wenn sie sie in einer jahrzehntelangen Wachstumsphase nicht völlig aufzehren.

Angesichts der Verhältnisse in der Vergangenheit, in der in Kernkraftwerken allenfalls ein Bruchteil jener Energie produziert wurde, den die Kerntechnik insgesamt verbraucht hat, kann man sich des Eindrucks einer zum Selbstzweck entarteten Entwicklung nicht erwehren – einer Entwicklung, die primär oder ausschließlich in den Kapitalverwertungsinteressen der an diesem Bereich Beteiligten begründet ist. Dabei sind allerdings jene "Kosten" noch gar nicht erwähnt, die die jetzige und vor allem künftige Generationen in der Form gesundheitlicher Schäden zu tragen haben werden. Darüber hinaus ist vom Ausbau der Nuklearindustrie bis hin zur Abfalllagerung ein hoher Einsatz seltener Rohstoffe erforderlich, die nach ihrer radioaktiven Verseuchung der Wiederverwendung entzogen sind. Die Kerntechnik erweist sich sohin als Bereich, bei dem mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit weit größere Probleme geschaffen als gelöst werden.

Die im Hinblick auf die Bevölkerung notwendige Garantie der erforderlichen Sicherheit in allen Zweigen der Kernindustrie ist wegen der nie auszuschließenden Möglichkeiten

menschlichen Fehlverhaltens, terroristischer und erpresserischer Anschläge sowie von Sabotage (von kriegerischen Auseinandersetzungen überhaupt abgesehen) nicht zu erbringen. Der Diebstahl von Plutonium aus dem Brennstoffzyklus und die Entstehung eines schwarzen Marktes dafür wird von den verschiedensten Atomenergieorganisationen als ernste Gefahr der Zukunft gesehen, da dann nationalen und internationalen Verbrecherorganisationen ein Druckmittel von bisher nicht gekannter Wirksamkeit zur Verfügung steht – wenige Gramm Plutonium reichen aus, ganze Stadtviertel radioaktiv zu verseuchen, 5 kg genügen, um eine Atombombe zu bauen (M. WILLRICH und T. B. TAYLOR, 1974).

Diese Mengenangaben muß man in Beziehung setzen mit jenen Plutoniumquantitäten, die beim Ausbau einer künftigen Brütertechnologie verarbeitet werden – nämlich 5000 Tonnen jährlich und mehr. Der jährliche Verarbeitungsverlust beläuft sich somit auf 50 Tonnen Plutonium im Abfall. Es ist schlechthin kein Mechanismus denkbar, der das "Abzweigen" von Kilogramm-Mengen auf Dauer verhindern könnte. Einer künftigen nuklearen Erpressung stehen alle Türen offen; z. B. durch den Diebstahl neuer Brennelemente während des Transports zum Kraftwerk – , eine radiologisch völlig unbedenkliche Aktion und auch vom Vorgehen her sehr einfach. Es geht daher nicht um die Frage, wie die Kerntechnik perfekt für den Menschen gemacht werden kann – das unüberwindliche Hindernis besteht darin, den Menschen perfekt für die Kerntechnik zu machen. Die Sicherheit der Kernindustrie ist eine mit technischen Mitteln allein nicht zu lösende Aufgabe. Sie verlangt – weit über historische Zeiträume hinweg – gesellschaftliche Systeme mit absoluter Verlässlichkeit und Kontinuität der sozialen und politischen Herrschaftsstrukturen als Voraussetzung einer lückenlosen Überwachung und Wartung der radioaktiven Abfälle.

Der Glaube an die Allmacht von Wissenschaft und Technik nimmt in der Hinwendung zur Kerntechnik gelegentlich pseudoreligiöse Formen an, die sich von der Etikettierung der monströsen Kühltürme als Kathedralen des späten 20. Jahrhunderts bis zur Forderung nach einer nuklearen Hohenpriesterschaft steigern (A. M. WEINBERG, 1972).

"Die in diesem Jahrzehnt ergriffenen energiepolitischen Maßnahmen werden über den Spielraum der sozialen Beziehungen entscheiden, dessen eine Gesellschaft im Jahr 2000 sich wird erfreuen können. Eine Politik des geringen Energieverbrauchs ermöglicht eine breite Skala von Lebensformen und Kulturen. Moderne und doch energiekarge Technologie läßt politische Optionen bestehen. Wenn eine Gesellschaft sich hingegen für einen hohen Energieverbrauch entscheidet, werden ihre sozialen Beziehungen notwendig von der Technokratie beherrscht und – gleichgültig ob als kapitalistisch oder sozialistisch etikettiert – gleichermaßen menschlich unerträglich werden" (I. ILLICH, 1973).

Aus der Durchleuchtung der natur- und sozialwissenschaftlichen Zusammenhänge zwischen der Produktion der Kernenergie und den gegenwärtigen Entscheidungsstrukturen bei der wirtschaftlichen und politischen Entwicklung folgt wieder einmal: Die mit großem Aufwand genährte Hoffnung, der wissenschaftlich-technische Fortschritt könnte die schädlichen Nebenwirkungen unserer Zivilisation im folgenden Entwicklungsabschnitt überwinden, erweist sich im Lichte einer kritischen Analyse und nüchternen Retrospektive als eine gefährliche Illusion (P. WEISH und E. GRUBER, 1973).

Mehr noch als für die "toxische Gesamtsituation" (F. EICHHOLTZ, 1956), gegen die bislang, wenn überhaupt, recht erfolglos gekämpft wurde, gilt dies für die irreversible Radiointoxikation unserer Lebensbereiche, die sich unmerklich, aber mit der Ausweitung der Kerntechnik unlösbar verbunden, bereits abzuzeichnen beginnt.

Wenn die Verdoppelung der Energieproduktion alle zehn Jahre nur mit Kernenergie möglich ist, so ist dies kein Argument für die Kernenergie, sondern gegen die Verdoppelung.

Literatur

BEIR-Report, The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Report of the Advisory Committee on the Biological Effects to Ionizing Radiations, Washington, 1972

Betriebsgutachten Kernkraftwerk Gundremmingen, Technischer Überwachungsverein Bayern, 1966

BLAU P., Das Ruhrgebiet an der Donau? In: Solidarität, Nr. 10, 1974, S. 15 – 17

BRESCH C., Klassische und molekulare Genetik, Berlin, 1970

BROSS I. D. J. und NATARAJAN N., Leukaemia from Low Level Radiation; in: New England Journal of Medicine, Nr. 287, 1972, S. 107 – 110

BRYAN W., Kritik an der Rasmussen-Studie; nach: Nucleonics Week 15, 1974

CAVALLI-SFORZA L. L. und BODMER W. F., The Genetics of Human Populations, San Francisco, 1971

COURT BROWN W. M. und DOLL R., Leukaemia and Aplastic Anaemia in Patients Irradiated for Ankylosing Spondylitis; in: Medical Research Council, Special Report, Nr. 295, London, 1957

DIEM K. und LENTNER C., Documenta Geigy – Wissenschaftliche Tabellen, 7. Aufl., Basel, 1968

DYER N. C. und BRILL A. B., Fetal Radiation Dose from Maternally Administered Fe-59 and J-131; in: Symp. Radiation Biology of the Fetal and Juvenile Mammal, Hanford, 1969, S. 73 – 88

EICHHOLTZ F., Die toxische Gesamtsituation auf dem Gebiet der menschlichen Ernährung. Umriss einer unbekannteren Wissenschaft, Berlin, 1956

GEESAMAN D. P., Plutonium and Public Health; in: GT-121-70 (GOFMAN J. W. und TAMPLIN A. R., Report No. 121), 1970

GENTRY J. T., PARKHURST E. und BULIN G. U. Jr., An Epidemiological Study of Congenital Malformations in New York State; in: American Journal of Public Health, Nr. 49, 1959, S. 497—513

GOFMAN J. W. und TAMPLIN A. R., Radiation – Induction of Human Lung Cancer. Testimony Presented at Hearings of the ICAE, U. S. Congress, 1970

GOFMAN J. W. und TAMPLIN A. R., Poisoned Power, Emmaus, 1971

GOFMAN J. W., GOFMAN J. D., TAMPLIN, A. R. und KOVICH E., Radiation as an Environmental Hazard. Symp. Fundamental Cancer Research, Houston, 1971

- GRAUL E. H. und HUNDESHAGEN H., Y-90-Organverteilungsstudien unter besonderer Berücksichtigung des autoradiographischen und papierelektrophoretischen Nachweisverfahren- in: Strahlentherapie 106, 1958, S. 405 – 417
- HOLDREN J. P., Radioactive Pollution of the Environment by the Nuclear Fuel Cycle. 23rd Pugwash Conference, Aulanko, 30. 8. – 4. 9. 1973
- HUG O., Strahlenschäden und Strahlenschutz- in: atw Nr. 6, 1971, S. 294 – 300
- ICRP Publication 9, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Oxford, 1965
- ILLICH I., Die sogenannte Energiekrise oder die Lähmung der Gesellschaft, Hamburg 1973
- JACOBSEN L., Low Dose x-Irradiation and Teratogenesis. Kopenhagen, 1968
- KAPLAN R. W., Die Gefährdung der Erbanlagen des Menschen durch Strahlen- in: Naturwissenschaften, Nr. 44, 1957, S. 433 – 438
- KAPP K. W. und VILMAR F. (Hrsg.), Sozialisierung der Verluste? München, 1974
- KNELSON J. H., Environmental Influence on Intrauterine Lung Development; in: Archive of Internal Medicine, Nr. 127, 1971, S. 421 – 425
- LAVE L. B., LEINHARDT S. und KAYE M. B., Low-level Environmental Radiation and US-mortality, Carnegie Mellon University, WP 19-70-1, revidierte Fassung, 1972
- LEODOLTER I., Diskussionsbeitrag nach dem Vortrag: "Umweltschutz heißt überleben" in der SP~-Döbling, Wien, 1972
- LEODOLTER I., Energie, Umwelt, Wirtschaft; in: Zeitschrift für Gemeinwirtschaft Heft 1, 1975
- LILIENFELD A. M., Epidemiological Studies of the Leukaemogenic Effects of Radiationin: Yale Journal of Biological Medicine, Nr. 39, 1966, S. 143 – 164
- LINDACKERS K. H., Die Auswirkung sehr schwerer Schäden an Kraftwerken Vortrag anlässlich der mündlichen Doktorprüfung, Technische Hochschule Aachen, 1970
- LUNDIN F. E. Jr., LLOYED J. W., SMITH E. M., ARCHER V. E. und HOLADAY D. A., A Joint Publication: Mortality of Uranium Rock Mining and Cigarette Smoking 1950 – 1967; in: Health Physics, Nr. 16, 1969, S. 571 – 578
- MAKHIJANI A. B. und LICHTENBERG A. J., An Assessment of Energy and Materials Utilization in the USA. ERL-M 310, College of Engineering, University of California Berkely, 1971
- MacMAHON B., Pre-natal x-ray Exposure and Childhood Cancers; in: Journal of National Cancer Institut Nr. 28, 1962, S. 1173 – 1191
- MANDEL H., 1971; zitiert nach: Jahrbuch für Atomwirtschaft, Düsseldorf, 1972
- MICHELSON J., Some Observations on the Reports of Excessive Radionuclides in the

- Shippingport Area. Factfinding Committee Pennsylvania Department of Health, 1973
- MOELLER D. W., The President's Message; in: Health Physics Nr. 21 (1), 1971
- MOSKALEV Y. I. et al., Experimental Study of Radionuclide Transfer through the Placenta and their Action on the Fetus; in: Symp. Radiation Biology of the Fetal and Juvenile Mammal, Hanford, 1969, S. 153 – 166
- MÜLLER W. A., Gonad Dose in Male Mice after Incorporation of Strontium-90, in: Nature, Nr. 214, 1967, S. 931 – 933
- MULLER H. J., Artificial Transmutation of the Gene; in Science, Nr. 66, 1927
- PAULING L., No More War, New York, 1960
- PETKAU A., Effect of Na-22 on a Phospholipid Membrane; in: Health Physics, Nr. 22 1972, S. 239 – 244
- PLATT A. M., The Retention of High Level Radioactive Wastes, in: Symp. on Reprocessing of Irradiated Fuels, AEC/TID 7534, 1957, S. 389—406
- RAJEWSKY B. et al., Untersuchungen radioaktiver Partikel aus dem Jahr 1961; in: Atompraxis, Jg. 8, 1962, S. 237 – 257
- SCHLOSSER K., Vorarbeiten für die Einrichtung einer österreichischen Lagerstelle für radioaktive Abfälle; in: SGAE/RT Technischer Bericht Nr. 88, 1968
- SCOTT K. G., STEWART E. T., PORTER C. D. und SIRAFINEJAD E., Occupational x-ray Exposure; in: Archive of Environmental Health Nr. 26, 1973, S. 64 – 66
- STEINITZ R., Pulmonary tuberculosis and carcinoma of the lung. A survey from two population based disease registers; in: American Review of Respiratory Disease, Nr. 92, 1965, S. 758 – 765
- STERNGLOSS E. J., Environmental Radiation and Human Health- in: 6th Berkely Symp. Mathematical Statistics and Probability 1970. University of California, Berkely, 1972a, S. 145 – 221
- STERNGLOSS E. J., Low Level Radiation, Ballantine books, 1972b
- STEWART A. und KNEALE G. W., Radiation Dose Effects in Relation to Obstetric x-rays and Childhood Cancers; in: The Lancet, Nr. 6, 1970, S. 1185 – 1188
- STEWART A., WEBB J. und HEWITT D., A Survey of Childhood Meligrancies; in: British Medical Journal, Nr. 1, 1958, S. 1495 – 1508
- STOKKE T., OFTEDALE P. und PAPPAS A., Effects of Small Doses of Radioactive Strontium on the Rat Bone Marrow; in: Acta Radiologica, Nr. 7, 1968, S. 321 – 329
- TAMPLIN A. R. und COCHRAN T. B., Radiation Standards for Hot Particles. A Report on the Inadequacy of Existing Radiation Protection Standards Related to Internal Exposure of Man to Insoluble Particles of Plutonium and Other Alphaemitting Hot Particles, Natural Resources Defence Council, Washington D. C., 1974

- TAMPLIN A. R. und GOFMAN J. W., "Population Control" through Nuclear Pollution, Chicago, 1970
- TIMOFEEFF-RESSOVSKY N. V., IVANOV V. I. und KOROGODIN V. J., Die Anwendung des Trefferprinzips in der Strahlenbiologie, Jena, 1972
- WEINBERG A. M., Social Institutions and Nuclear Energy; in: Science, Nr. 177, 1972, S. 27 – 34
- WEISH P. und GRUBER E., Atomenergie und Umweltsituation. Die Radiointoxikation der Biosphäre; in: Aufsätze und Reden der senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft, Frankfurt, 1973
- WEISH P. und GRUBER E., Radioaktivität und Umwelt, Stuttgart, 1975
- WILLRICH M. und TAYLOR T. B., Nuclear Theft: Risks and Safeguards, Ballinger Publication Company, 1974
- WÜSTENHAGEN H., Atomenergie – oder: Was dem Bürger verschwiegen wird; Vortrag, Enns, 26. 4. 1974
- YULISH B. et al., Low Level Radiation: Ascensuary of Responses to ten Years of Allegations by Dr. Ernest Sternglass, unveröffentlicht, 1973.

Anhang:

Geleitwort von Bruno Kreisky im Buch: „Gesundheit im gesellschaftlichen Konflikt“ (1980)

„Ein Geleitwort für ein wissenschaftliches Werk dieser Art ist für mich als einen Außenstehenden besonders schwierig. Es kann natürlich kein sachkundiges sein. Dennoch drängte es mich doch, das Geleitwort für dieses Buch zu schreiben, vor allem deshalb, weil ich mich als Mitverantwortlicher fühle. Ohne die vom Bundeskanzleramt in Auftrag gegebene und 1975 als »Systemanalyse des Gesundheitswesens in Österreich« publizierte Studie wäre dieses umfassende Werk nicht oder nur sehr viel später und in anderer Form entstanden. Viele der Mitarbeiter an diesem Werk wurden erst durch den ursprünglichen Forschungsauftrag veranlaßt, sich mit diesem Thema zu befassen. Natürlich bin ich, ebenso wie bei der früheren Untersuchung, nicht in der Lage, mich mit all den hier geäußerten Auffassungen zu identifizieren. Aber es scheint mir notwendig, daß ein so wichtiger Bereich wie die Medizin in all ihren Aspekten und bei all ihrer subjektiven und objektiven Bedeutung, die sie für die Menschen hat, nicht von Kritik freigehalten wird. Es muß zu Gegenpositionen und Kontroversen kommen, soll sich hier nicht eine Selbstgefälligkeit breitmachen, die diesen großen gesellschaftlichen Bereich gegenüber notwendigen Veränderungen immunisiert. Er darf nicht von vornherein nur denen überlassen werden, die sich traditionell mit medizinischen Fragen beschäftigen, also den Medizinern und beamteten Funktionären der Gesundheitspolitik. Auch hier muß der dialektisch-demokratische Prozeß des Infragestellens stattfinden, soll es zu schöpferischen Entwicklungen kommen. Auch wenn man die Schlußfolgerungen dieses Werkes nicht teilt, muß man das Prinzip akzeptieren, daß gesellschaftliche Einrichtungen immer wieder in Frage gestellt werden, weil die Demokratie auch durch zu viel intellektuelle Ruhigstellung großer Bereiche gefährdet werden kann. Akzeptierte man dieses Prinzip nicht, so würde man die Demokratie nur in den rein politischen Bereich verbannen, der heute keinesfalls mehr der einzige sein kann, in dem sie sich entfaltet. Viele von uns empfinden Demokratie nicht mehr nur als einen Vorgang, der zu einer möglichst raschen Willensbildung und zu dessen rascher Beendigung durch Abstimmung führt. Vielmehr verstehen wir Demokratie als einen ständig vor sich gehenden Prozeß der Meinungsbildung. Kein Bereich des gesellschaftlichen Lebens sollte diesem Prozeß entzogen werden, wozu viele gerade innerhalb der Medizin und Gesundheitspolitik Wirkende neigen. Ein weiteres Argument, das ich mit diesem Geleitwort wieder einmal zum Ausdruck bringen möchte, ist, daß es nicht die etablierten Fachleute allein sind, die das Recht haben, sich zu solchen Fragen zu äußern. Doch schließlich und endlich sind die Fachleute sehr oft verschiedener Meinung und wer soll dann bei gesellschaftlich relevanten Problemen entscheiden? Ob es uns nun recht ist oder nicht: die Entscheidung muß in der Politik fallen. Bei aller wissenschaftlicher Ambition, die dieses Buch auszeichnet, ist es doch auch ein politisches Werk, weil immer wieder Stellung bezogen wird. Sein Erscheinen ist daher von großer Nützlichkeit.“

Bruno Kreisky