

werden oder nicht. Die Stammzellen<sup>68</sup> eines jeden Gewebes könnten die kritische Subpopulation und damit die Targetzellen sein. Die physikalischen Berechnungen von Dosen nach Inkorporation von Radionukliden gehen davon aus, daß die Energiedeposition gleichmäßig ist. Besonders bei Alphastrahlern ist dieses ein schwerwiegender Fehler, der eine Dosisunterschätzung bis zu zwei Größenordnungen bedeuten kann (siehe Zitat in Fußnote 58). Der Gebrauch der Extrapolation von Daten aus Niedrig-LET-Strahlungen in Situationen, in denen es sich um Alphastrahler hoher LET handelt, muß daher mit äußerster Vorsicht betrachtet werden. Aufgrund der mikrodosimetrisch stark inhomogenen Energiedeposition kommt es zu Anstieg der RBW bei niedriger Dosis, d.h. daß der Dosiswirkungsverlauf überlinear ist<sup>69</sup>. Bei der Ermittlung der Schadensfolgen pro Doseinheit wird nach ICRP jedoch ein linearer Zusammenhang und ein konstanter Q-Faktor vorausgesetzt, so daß es bei inkorporierter Alphaaktivität zu einer Unterschätzung der Wirkung kommt. Der wichtigste Pfad der Inkorporation von Alphastrahlern ist die Inhalation.

#### Bezug

- Anhang F: Beitrag von W. Burkart und E. Wirth
- Anhang H: Beitrag von F. Planas-Bohne
- Anhang R: Beitrag von N.D. Priest
- Anhang B1: Beitrag von I. Schmitz-Feuerhake

## II. Aufgabe 1, Teil B: Frage der Zulänglichkeit der Immissionsrichtwerte im Zusammenhang mit dem gesundheitlichen Schutz der Bevölkerung.

### II. 5. Einleitung: Stochastische frühsomatische Strahlenwirkung - Leukämie

Die stochastischen somatischen Strahlenwirkungen äußern sich als Krebserkrankungen. Die Induktion von Krebs durch ionisierende Strahlungen ist bekanntlich unspezifisch, d.h. sie sind in der Lage alle sog. spontan vorkommenden Arten von Tumoren bzw. Krebsen<sup>70</sup> hervorzurufen.

---

<sup>68</sup>Derzeitiges Verständnis über die Dynamik von Gewebe ist, daß in allen Geweben Stammzellen vorhanden sind. Die Größe dieser Subpopulation schwankt zwischen den verschiedenen Gewebetypen und ist von der Zellenumsatzrate abhängig. Das Vorhandensein einer geringen Population von embryonal mesenchymalen Stammzellen wurde schon erwähnt und die Lage dieser Zellen scheint um das Periosteum (Knochenhaut) zu sein.

<sup>69</sup>Kuni, H: Niedrige Strahlendosen und Gesundheit der Arbeitnehmer. Berichte des Otto Hug Strahleninstitutes Nr. 8 - 11, München 1994.

<sup>70</sup>Aus diesem Grund werden ionisierende Strahlungen als geeignetes Agens bei Studien zum Verständnis der Mechanismen der Krebsentstehung eingesetzt, da Strahlungen lediglich als

Vom Zeitpunkt der Auslösung bis zur Feststellung einer sichtbaren Erkrankung kann der Zeitraum - Latenzzeit - abhängig von Tumor bzw. der Krebsart und anderen biologischen Faktoren, wie dem Alter zum Zeitpunkt der Induktion, unterschiedlich lang sein. Im allgemeinen ist die Latenzzeit für Leukämien am kürzesten und insbesondere im Fall kindlicher Leukämien. Die RERF-Daten über die Atombombenüberlebenden zeigen, daß der Höhepunkt in der Latenzzeit kindlicher Leukämien etwa im 4. oder 5. Jahr nach der Exposition liegt, bei Erwachsenen etwa die doppelte Zeitdauer<sup>71</sup>. In Fällen von frühkindlichen Leukämien (während der ersten Lebensjahre) könnte die Induktion *in utero*<sup>72</sup> stattgefunden haben. Die RERF-Daten stellen ein Referenzdatensatz der strahlenbedingten Krebs epidemiologie dar und dienen deshalb als Basis der ICRP-Empfehlungen. Diese Daten bergen einen schwerwiegenden Schwachpunkt, indem die Mortalitäten der ersten 5 Jahre verlorengingen - Daten über die schwächsten Mitglieder der Kohorte, nämlich Ungeborene junge Kinder und ältere Menschen, wie vom Altersprofil der Kohorte<sup>73</sup> belegt wird. Überhöhungen in der Erkrankungsrate verschiedener Krebsarten werden bis zum heutigen Tag bei den Überlebenden festgestellt.

Die Strahlenexposition der RERF-Kohorte wird auf externe Bestrahlung durch die Atombombenzündung zurückgeführt. Weitere Referenzdaten aus bestrahlten Populationen (medizinische oder berufsbedingte Expositionen), sowie aus anderen epidemiologischen Studien beziehen sich größtenteils auf externe Bestrahlungen. Die Anwendung dieser Daten für die Risikoabschätzung in Situationen der Radionuklidinkorporation ist aus schon vorher genannten Gründen fehlerhaft. Die Erfahrungen über Radionuklidinkorporation bei Menschen entstanden aus retrospektiven Studien über Malerinnen von Uhrenziffernblättern<sup>74</sup>, mit Thorotrast behandelten Patienten/innen und Uranbergarbeiter, die hohen Radonbelastungen ausgesetzt waren. Da die Dosisabschätzungen mit großen Unsicherheiten verbunden sind, müssen diese mit der erforderlichen Zurückhaltung betrachtet werden<sup>58</sup>. Tierversuche zur Krebsinduktion nach

---

Auslöser von spontanen Ereignissen angesehen werden.

<sup>71</sup>Shimizu Y., Kato H. & Schull W: Life Span Study Report II. Part 2. Cancer mortality in the years 1950-85 based on the recently revised dosis (DS86). Radiation Research 121 (1990) 120 - 141.

<sup>72</sup>Ein Beweis dafür wurde erstmalig vom Oxford Survey of Childhood Cancers (UK) unter Leitung von Alice M. Stewart erbracht [siehe Alice Stewart *et al* Lancet ii (1956) 447]. Auf die zahlreichen Publikationen dieser Autorin und deren Mitarbeiter wird hingewiesen. Insbesondere: Kneale, G.W. und Stewart, A.M.: Age variation in the cancer risks from foetal irradiation. British Journal of Cancer, 35 (1977) 501-510.

<sup>73</sup>Stewart, A.M. und Kneale, G.W.: A-bomb survivors: Further evidence of late effects of early deaths. Health Physics, 64 (1993) 467-472.

<sup>74</sup>Rowland, R.E: Radium in Humans: A Review of U.S. Studies. Argonne Nat Lab 1994.

Inkorporation knochenaffiner Radionuklide (Strontium-90, Radium-226 und Plutonium-239) sind äußerst eingeschränkt in ihrer Zahl und hinsichtlich Leukämien sogar kontrovers<sup>74, 75, 76</sup>. Die Quintessenz dieser Studien weist darauf hin, daß Alphastrahler für die Leukämieinduktion nur geringfügig wirksam sind, während sie bei Leberkrebs (Plutonium-239) und Osteosarkomen (beide Radium-226 und Plutonium-239) hochwirksam sind. Die geringe leukämogene Fähigkeit ist vorwiegend auf Zelltötung zurückzuführen. Die Schlüsselfrage, deren Beantwortung noch aussteht, ist, ob die leukämogenen Potentiale bei Dosisverminderungen, d.h. weniger Inkorporation durch Herabsetzung der Zelltötung gesteigert werden. Es wurde darauf hingewiesen, daß die inhomogene Bestrahlung der Zellpopulation, welche aus nicht getroffenen und schwer geschädigten Zellen besteht, ein hochkomplexes Problem darstellt und eine Reduktion der Dosis schlichtweg eine Verschiebung der Verhältnisse bedeuten würde. Ob das leukämogene Potential dadurch beeinflusst wird, ist schwer vorauszusagen. Neuere Studien zur Frage der Onkogenität von Alphastrahlen liefern Ergebnisse, welche andere biologische Konzepte erfordern, die von den alten physikalisch-mechanistischen Vorstellungen Abstand nehmen; diese werden in einem späteren Abschnitt (IV. 2. 2) angesprochen.

Ionisierende Strahlungen sind bekanntlich vollständige Karzinogene; die Anwesenheit eines zweiten fördernden Agens ("Promoter") ist für die weitere onkogene Entwicklung nicht erforderlich. Dennoch könnte die Anwesenheit eines Promoters oder eines anderen Karzinogens den Prozeß beeinflussen, und folglich könnte die Inzidenz erhöht bzw. die Latenzzeit verkürzt sein oder sogar beides zutreffen. Derzeitige Erkenntnisse über die kombinierten Wirkungen von Strahlung mit chemischen Substanzen basieren im wesentlichen auf Erfahrungen aus der Strahlentherapie (Radioonkologie) in Wechselbeziehung mit der Medizinischen Onkologie. Diese Aspekte der Strahlenkarzinogenese werden in einem späteren Abschnitt ausführlicher angesprochen. An dieser Stelle genügt es, darauf hinzuweisen, daß Untersuchungen über die Interaktionen von ionisierenden Strahlungen aus inkorporierten Radionukliden im Zusammenhang mit anderen Umwelttoxinen, insbesondere chemischen bzw. physikalischen (z.B. magnetische oder elektromagnetische Felder usw.) Karzinogenen kaum bekannt sind, und wenn es sich um die Frage der Induktion von Leukämien handelt, gar keine Erkenntnisse vorhanden sind. Die einzigen Studien, die gewisse Relevanz im Hinblick auf die bereits erwähnten Punkte haben, sind einige experimentelle<sup>77</sup> bzw. epidemiologische Untersuchungen über radioaktives Radon, Plutonium und

---

<sup>75</sup>van Kaick G et al (Eds.): Health Effects of Internally Deposited Radionuclides, World Scientific Pub., 1995.

<sup>76</sup>BEIR IV: Health Effects of Radon and other Internally Deposited Alpha-emitters. National Academy Press, Washington DC, 1988.

<sup>77</sup>Eine bemerkenswerte experimentelle Studie (Little, J.B.: Radiation Research 87 (1981) 240-250 hat gezeigt, daß nach der Inkorporation von 3700 Bq Polonium-210 in Hamstern 2% der Tiere Lungenkrebs entwickelten. Aber wenn die Luft mit Kochsalzgicht versehen war, stieg die Tumorrates auf 36%. Die Kochsalzgicht alleine hat keinen Krebs verursacht.

Uran, zusammenhängend mit inhalierten Asbest- bzw. Silicatstäuben, jeweils in bezug auf die Entwicklung von Lungenkrebs. Die Wirkung von Karzinogenen allein entscheidet den Verlauf der Krankheitsentwicklung nicht. Vielmehr beeinflusst die Prädisposition einzelner Betroffener in Zusammenhang mit ihrem persönlichen Lebensstil bzw. ihren Gewohnheiten den Verlauf der Krankheitsentwicklung.

### II. 5. 1. Zulänglichkeit der Immissionsrichtwerte hinsichtlich des gesundheitlichen Schutzes

Das Genehmigungsverfahren und der Betrieb von Kernkraftwerken wurden in einem anderen Abschnitt bereits angesprochen. Eine zentrale Angelegenheit ist die Sicherheit der Umwelt und damit selbstverständlich der gesundheitliche Schutz der Bevölkerung. Die Einhaltung der StrlSchV wird gewährleistet durch ein Regelwerk, dem beim Bau (AVV, siehe oben) und während des Betriebs (KTA-Regel 1503.1 für Ableitungen mit Luft und KTA-Regel 1504 für Ableitungen mit Wasser, siehe oben) entsprochen werden muß. Die maximal zulässige Emission -nur Ableitungen mit Luft werden hier berücksichtigt, da sie von ausschlaggebender Bedeutung sind -beinhaltet eine Sicherheitsmarge, und die vom KKK gemeldeten Emissionswerte betragen lediglich 1% der genehmigten Emission. Damit erscheint jede Frage nach einem Zusammenhang zwischen den kindlichen Leukämien und dem Betrieb des Kernkraftwerkes zunächst absurd. Die Erfahrung zeigt jedoch, daß sich dort, wo sorgfältige epidemiologische Studien durchgeführt worden sind, immer Zusammenhänge dieser Art feststellen ließen<sup>78</sup>. Damit besteht eine Diskrepanz zwischen dem, was theoretisch als sicher angesehen wird und epidemiologischen Beobachtungen<sup>80, 82</sup> auch in Deutschland<sup>79, 81</sup>, die auf eine Einwirkung der kerntechnischen Anlagen auf die Umgebung hinweisen.

Bei dem kindlichen Leukämiecluster in der Umgebung des KKK ist die Frage, inwieweit die Unsicherheiten in der Dosisbestimmung und der Risikoabschätzung es denkbar erscheinen lassen, daß ein Zusammenhang mit dem Betrieb der Anlage besteht. Dieser Aspekt wird in den folgenden Abschnitten behandelt. Verschiedene Punkte waren in diesem Zusammenhang schon Gegenstand vorangehender Kapitel und werden in Beantwortung der hier gestellten Frage zusammenfassend dargelegt.

---

<sup>78</sup>Schmidt, M. *et al* (Eds.): Radiation Exposures by Nuclear Facilities. Evidence of the Impact on Health. Proceedings of International Workshop, Portsmouth, 1966, Gesellschaft für Strahlenschutz, Berlin, 1998.

<sup>79</sup>Hoffmann, W & Greiser E: Retrospective Inzidenzstudie Elbmarsch: Inzidenz von Leukämien, malignen Lymphomen, multiplen Myelomen und von verwandten Erkrankungen in den Landkreisen Herzogtum Lauenburg, Harburg und Lüneburg, 1984-1993, Bremen Dezember 1994. Im Auftrag des Schleswig-Holsteinischen Ministeriums für Natur und Umwelt.

Kindliche lympho-hämatopoetische Malignitäten - um eine allgemeine Bezeichnung anzuwenden - wurden sowohl um Sellafield, La Hague, in der Umgebung von 14 britischen Kernkraftwerken (kollektiv untersucht)<sup>80</sup> als auch in der Umgebung von 20 deutschen Kernkraftwerken (kollektiv untersucht)<sup>81</sup> und in der Umgebung mehrerer Kernkraftwerke in den USA - prominentestes davon ist die Fallkontrollstudie um den Pilgrimreaktor in Massachusetts,<sup>82</sup> um einige der wichtigsten Studien zu nennen festgestellt. Eine weitere Zahl kleinerer Studien haben die gleichen Befunde ergeben<sup>83</sup>. Die Strahlenschutzbestimmungen und die technischen Fähigkeiten dieser Länder, die zu den technisch Fortschrittlichsten zählen, sind ohne Zweifel vergleichbar. Da ungenehmigte Freisetzungen radioaktiver Stoffe abgestritten werden und noch nie nachgewiesen werden konnten, bleiben zur Erklärung lediglich Fehler in technischen Berechnungen oder Fehler in den Annahmen von Dosis- und Dosiswirkungskonzepten übrig und sogar Kombinationen davon. Dennoch müssen zwei oder drei Punkte mit Vorsicht benannt werden. Eine Untersuchung in England hat auf höhere Krebsinzidenz in der Umgebung von geplanten kerntechnischen Anlagen hingewiesen<sup>84</sup>. Obwohl dieser Befund statistisch nicht gesichert war, wird diese Arbeit häufig zitiert, als ob es sich um ein allgemeines Phänomen handle. In der deutschen Studie des IMSD der Universität Mainz schien sich dieser Befund zu bestätigen, da eine signifikant erhöhte Leukämieinzidenz in der ausgewählten Regionen um geplante Anlagen gefunden wurde. Spätere Analysen ergaben jedoch, daß es sich hierbei nicht um eine Clusterung handelt<sup>86</sup>.

In der deutschen und der britischen Studie, die positive Korrelationen bezüglich kindlicher Leukämien zeigten, erhoben die Autoren Zweifel an ihren eigenen Befunden mit dem Argument, daß die ausgewählten Referenzregionen zu niedrige Inzidenzen aufwiesen. Dadurch seien die

---

<sup>80</sup>Cook-Mozaffari PJ *et al.*: Cancer incidence and mortality in the vicinity of nuclear installations, England and Wales, 1959-80. HM Stationary Office, London.

<sup>81</sup>Keller B *et al.*: Untersuchung der Häufigkeit von Krebserkrankungen im Kindesalter in der Umgebung westdeutscher kerntechnischer Anlagen (Federführung: J. Michaelis). BMU-1992-326, ISSN 0724-3316.

Kaletsch U *et al.*: Epidemiologische Studien zum Auftreten von Leukämieerkrankungen bei Kindern in Deutschland. (Federführung: J. Michaelis). IMSD Technischer Bericht, Universität Mainz, 1997.

<sup>82</sup>Morris M und Knorr RS: Investigation of Leukaemia incidence in 22 Massachusetts communities 1978 - 1986. Southern Massachusetts Health Study Final Report. Massachusetts Department of Public Health, October 1990.

<sup>83</sup>Für eine Übersicht siehe: Childhood Cancer and Nuclear Installations, Eds. V. Beral, E. Roman & M. Bobrow, Book dedicated to Martin J. Gardner, British Medical Journal, 1993.

<sup>84</sup>Cook-Mozaffari JP *et al.*: Cancer near potential sites of nuclear installations. Lancet (1989 b) 1145-1147.

Erhöhungen im Studiengebiet rein statistisch entstanden. Tatsache ist jedoch, daß die Referenzregionen nicht nach dem Zufallsprinzip ausgesucht wurden, sondern das Ergebnis sorgfältiger Überlegungen aufgrund von festgelegten Kriterien waren. Ein weiteres Argument *in* der Ursachendebatte ist, daß Clusterbildung bei Leukämie typisch und naturbedingt sei.<sup>85</sup> In Veröffentlichungen der Ergebnisse dieser von EURATOM geförderte Großstudie (Federführung: F.E. Alexander) wird behauptet, die erforderliche statistische Signifikanz zur Bestätigung dieser Hypothese erbracht zu haben. Diese Schlußfolgerung wird von einige Epidemiologen (insbesondere aus dem BIPS an der Universität Bremen) für nicht zulässig erklärt, da die angewandte statistische Auswertung ungeeignet sei. Eine deutsche Studie zu Cluster-Bildung in der BRD hat gegenteilige Ergebnisse vorgelegt<sup>86</sup>. Ein Zusammenhang der kindlichen Malignitäten mit dem Betrieb kerntechnischer Anlagen ist nicht zwingend, muß aber unbedingt ausgeschlossen werden. Die Wahrscheinlichkeit der Zufallsbedingtheit des Leukämieclusters in der Umgebung von KKK ist ausreichend gründlich überprüft und als extrem gering eingestuft worden.

Wie schon in vorhergehenden Abschnitten dargestellt wurde, sind in der AVV und den KTA-Regeln Lücken und Unsicherheiten enthalten, welche Verbesserungen erfordern. Die Zielsetzung in der StrlSchV ist der gesundheitliche Schutz der Bevölkerung ohne Ausnahmen. Demzufolge müssen sämtliche Individuen einer Bevölkerung, angefangen vom Nichtgeborenen bis zum Greisen, berücksichtigt werden. Zudem sind gerade diese beiden Gruppen die empfindlichsten Mitglieder der Bevölkerung, und nach fortschreitender Erkenntnis auch genetisch veranlagte strahlenempfindliche Minderheiten. Die Dosisberechnungen der AVV beziehen sich auf eine konventionelle Standard-Referenzperson, die ursprünglich für toxikologische Bewertungen in der Arbeitsmedizin eingesetzt wurde. Abgesehen von Anwendungseinschränkungen bei komplexer Orographie, mit der damit verbundenen komplizierten Meteorologie, entspricht das Gaußmodell bei den Ausbreitungsberechnungen nicht dem Stand der Entwicklung. Die Ableitung von Kurzzeit-Ausbreitungskoeffizienten aus gemittelten Werten von Langzeitausbreitungen führt zu fehlerhaften Abschätzungen. Die in der AVV praktizierte Festlegung des ungünstigsten Einwirkungsortes als feste Stelle ist falsch, da dieser immer ein anderer ist, je nach Änderung der meteorologischen Parameter. Damit ist der "Aufpunkt" fiktiv. Die AVV hat bis jetzt die potentielle Strahlenbelastung durch Resuspension von abgelagerten radioaktiven Stoffen vernachlässigt. Zwischen den erklärten Zielsetzungen der KTA-Regeln und die darin

---

<sup>85</sup>Alexander, FE: Clustering of childhood acute leukaemia: The EUROCLUS Project. *Radiation and Environmental Biophysics* 37 (1998) 71 - 74.

<sup>86</sup>Westermeier T & Michaelis J: Applicability of the Poisson distribution to model the data of the German Children's Cancer Registry. *Radiat. & Environ. Biophys.* 34 (1995) 7-11. Laut PD Dr. W. Hoffmann, BIPS, ließe sich keine Kritik an der methodischen Sorgfältigkeit dieser Studie üben. Ferner wäre das Ergebnis der Studie bezeichnend für die Situation hinsichtlich der Cluster-Bildung in der BRD, und nicht das methodisch fragwürdige Ergebnis von Frau Professor F.E. Alexander aus Großbritannien.

vorgeschriebene Überwachung der Immissionen in der Umwelt besteht eine Diskrepanz. Der erweckte Eindruck von redundanten Messungen ist eine Täuschung, weil die Immissionsüberwachung im wesentlichen auf Gammastrahlung ausgerichtet ist und nicht in der Lage ist, nuklidspezifisch niederenergetische Beta- sowie reine Alphastrahler festzustellen. Die bestehende AVV löste die Allgemeinen Berechnungsgrundlagen von 1979 ohne wesentliche Änderungen ab.

Die Aufsichtsbehörde ist der Ansicht, daß die genehmigten Emissionen für das KKK lediglich 1/10 des Expositionsgrenzwertes für die Bevölkerung darstelle und daß die Jahresemissionen etwa 1% des genehmigten Wertes betragen. Es würde Emissionen von mindestens drei Größenordnungen darüber bedürfen, um den Expositionsgrenzwert der StrlSchV zu überschreiten<sup>87</sup>. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß allein Fehler in der Dosisermittlung in den AVV aufgrund der meteorologischen Unsicherheiten und der Unsicherheiten der Dosisfaktoren nach Inkorporation von Radionukliden ohne weiteres Unterschätzungen bis zu drei Größenordnungen bedeuten kann. Ein Schwachpunkt des Überwachungssystems liegt in der mangelnden nuklidspezifischen Überwachung von Alphastrahlern, die in Kernreaktoren als langlebige Aktiniden (insbesondere Plutonium-239) in großen Mengen vorkommen. Die allgemeine Überwachungsmessung ist im Hinblick auf Alphastrahler deshalb unzureichend, weil dabei nicht gegen die natürlich vorkommende alphaaussendende Radioaktivität diskriminiert werden kann. Die Alphastrahler bergen noch ungelöste Probleme der Dosimetrie und sind ein aktuelles Forschungs Feld der Strahlenbiologie. Eine Kontrolle der Einhaltung der betrieblichen Vorschriften ist grundsätzlich der erste Schritt zur Untersuchung einer möglichen Strahlenbedingtheit der kindlichen Leukämien (evtl. zur Entlastung der Betreiber). Selbst wenn jedoch diese Einhaltung - entgegen den Feststellungen der von hier beteiligten Gutachtern - bestätigt werden könnte, müßte aufgrund der angegebenen Unsicherheiten festgestellt werden, daß die Bevölkerungsdosis durch den Betrieb des KKK, wie auch in anderen Fällen nicht verläßlich angegeben werden kann. Für eine Abschätzung der maximal möglichen Exposition müßte ein neues Gutachten unter Berücksichtigung der Vertrauensbereiche der eingehenden Parameter angefertigt werden.

#### **II. 5. 2. Zulänglichkeit der gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich des gesundheitlichen Schutzes**

Die Induktion von Leukämie wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst, wobei das Alter ein sehr kritischer ist. Leukämien kommen in früher Kindheit vor und können bereits *in utero* ausgelöst sein. Da der Embryo bekanntlich besonders strahlenempfindlich ist, wird die Induktionsdosis sehr niedrig sein, wie Studien über Leukämierisiken nach diagnostischer

---

<sup>87</sup>Schreiben des MFE (Abteilung für Reaktorsicherheit) an den Vorsitzenden der Fachkommission Leukämie des Landes S.-H Prof. Dr. O. Wassermann vom 19.01.1996.

Röntgenexposition während der Schwangerschaft belegen. Der erste diesbezügliche Bericht von Alice Stewart (siehe oben) wurde durch weitere Studien bestätigt. Nennenswert ist eine entsprechende, große Studie in den Neu-England-Staaten in den USA.<sup>88</sup> Trotz dieser und anderer vorliegender Studien berücksichtigt die ICRP weiterhin für Risikoabschätzungen lediglich die RERF-Mortalitätsdaten der Atombombenüberlebenden. Die Unvollständigkeit der RERF-Daten - Nichterfassung der Mortalität in den ersten 5 Jahren, die hauptsächlich aus Kindern und alten Menschen bestanden - müssen zu einer Unterschätzung der Risiken bei Kindern führen. Trotzdem hat der BEIR V-Bericht<sup>89</sup> die Frage zur Empfindlichkeit als Funktion des Alters in Zusammenhang mit Leukämien aufgeworfen, und der Anstieg des relativen Risikos im Alter von 5 Jahren wurde mit 4,66 pro 10 cGy (0,1 Gy) bei einer Latenzzeit von 2 bis 15 Jahren abgeschätzt. Die Verdoppelungsdosis für Leukämieinduktion *in utero* wird von Alice Stewart mit etwa 1 cSv (10 mSv) abgeschätzt (siehe Anhang I). Der entsprechende Wert, abgeleitet von BEIR V für Kinder im Alter von 5 Jahren, beträgt etwa 2,7 cSv (27 mSv) und ist weit niedriger, als er hin und wieder in den öffentlichen Medien von Mitgliedern der deutschen Strahlenschutzkommission deklariert wird. Die bewußte Mißachtung der Daten aus *in utero*-Expositionen ist durchaus zu verstehen; die Anerkennung dieser Daten würde Konsequenzen verlangen, die sich in der StrlSchV niederschlagen müßten, und bedeuten, daß die Grenzwerte erheblich herabgesetzt werden müßten. Eine strengere Handhabung würde die Industrie, insbesondere die Atomindustrie, aber auch verschiedene medizinische Disziplinen mit erheblichen Einschränkungen belasten.

Wie in einem vorhergehenden Abschnitt bereits erwähnt, wurde die Grundlage des Grenzwertes von 5 cSv/a (50 mSv/a) ursprünglich von der ICRP im Jahre 1958 empfohlen und hat in Deutschland für berufsexponierte Personen weiterhin Gültigkeit, obwohl in Großbritannien dieser nach dem LSS-Bericht von 1997 auf 1,5 cSv/a (15 mSv/a) herabgesetzt worden ist. Diese "genetic dose" der ICRP war zu jener Zeit die beste Abschätzung der Verdoppelungsdosis für vererbare Schäden an Folgegenerationen, d.h. eine Generation wird mit 30 Jahren angesetzt. Die ICRP hat in ihrem Bericht von 1990 die Grenzwerte für berufsexponierte auf 2 cSv/a (20 mSv/a) herabgesetzt und sieht eine Optimierung des Grenzwertes (ICRP 1997<sup>90</sup>) für den Schutz der allgemeinen Bevölkerung bei 0,03 cSv/a (0,3 mSv/a). § 45 der StrlSchV entspricht letzterem, jedoch ist eine entsprechende Herabsetzung des Grenzwertes für beruflich Exponierte in Deutschland bisher nicht erfolgt. Die damalige Zielsetzung war, zukünftige Generationen zu schützen, ohne der sich gerade entwickelnden Nuklearindustrie Hindernisse aufzuerlegen.

---

<sup>88</sup>MacMahon, B: Prenatal X-ray exposure and childhood cancer. J. National Cancer Institute, 28 (1965) 1173-1191.

<sup>89</sup>BEIR V: Health effects of exposure to low levels of ionising radiations. National Academy Press, Washington DC, 1990, S. 352- 370.

<sup>90</sup>ICRP Publication 77: Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste. Pergamon 1998.



Stochastische somatische Effekte wurden nicht berücksichtigt, da die Vorstellung bestand, daß dafür erheblich höhere Dosen erforderlich seien. Der Einfluß des Alters, insbesondere die Empfindlichkeit der *in utero*-Induktion des kindlichen Krebses, fand bei der damaligen Formulierung der ICRP-Empfehlungen keine Berücksichtigung, da Daten darüber erst später erhoben wurden. Bald erfolgten die zwei maßgebenden Arbeiten von A. Stewart (1956) und B. MacMahon (1962) über die Risiken von kindlichen Leukämien durch *in utero*-Expositionen infolge röntgendiagnostischer Maßnahmen, die dennoch keine Auswirkungen auf die ICRP-Entscheidungen hatten. Die herrschende Philosophie des Strahlenschutzes hätte aufgegeben werden müssen - vermutlich zum Nachteil der politisch geförderten nuklearen Industrie - wenn eine ernsthafte Berücksichtigung dieser und weiterer Studien ähnlicher Richtung gegeben wäre. Die Atomenergieprogramme wurden als Quellen waffenfähiger Nuklide konzipiert.

Obwohl das nukleare Wettrüsten beendet ist und die öffentliche Haltung westlicher Industrienationen gegenüber Atomenergie sich zu einer allgemein kritischen Einstellung gewandelt hat, ist eine Neubewertung der wissenschaftlichen/ technologischen Grundlagen sowie eine Änderung der gesetzlichen Bestimmungen für den Betrieb von AKW und der Grenzwertbestimmungen noch nicht in Sicht. Die Philosophie des Strahlenschutzes nur auf der Grundlage von Grenzwerten, bestimmt durch die "genetic dose", ohne Berücksichtigung der empfindlichsten der stochastischen somatischen Effekte, ist nicht vertretbar. Die *in utero*-Effekte müssen als wahrscheinlichste Kandidaten für limitierende Faktoren gesehen werden. Die Hinwendung zu einer Betonung biologischer Faktoren muß durch das Voranbringen mikrodosimetrischer Methoden und der Entwicklung von Modellen zur realistischen Abschätzung von Dosis- und Dosiswirkungsbeziehungen, insbesondere für Alphastrahler gefördert werden. Bis dahin bleiben die StrlSchV und die Bestimmungen für den Betrieb von AKW suboptimal und das erklärte Ziel des ausnahmslosen Schutzes der Bevölkerung eine Täuschung.

Die Annahme, daß die zellulären Bereiche in einem Organ nach Inkorporation von Radionukliden gleichmäßig bestrahlt werden, ist falsch, da sie (a) die Biokinetik einzelner Radionuklide und (b) die eigentliche Biophysik der Energiedeposition in Geweben außer acht läßt. Die Bedeutung dieser Fehler ist besonders ausschlaggebend in Bezug auf Alphastrahler sowie auf Niedrigenergie-Betastrahler, speziell diejenigen, die Auger-Elektronen ausstrahlen. Die Unterschätzung der Dosis in den Zielzellen kann bis zu zwei Größenordnungen betragen (siehe oben) und die Risikoabschätzung entsprechend verfälschen. Die derzeit angewandten Berechnungsmethoden bedürfen einer Verbesserung auf Grundlage der Mikrodosimetrie. Leukämien und andere kindliche Neoplasien müssen auch schwerwiegenden Vernachlässigungen in der Methodik der Risikoabschätzung angelastet werden. Es ist höchste Zeit, daß hier entscheidende Verbesserungen vorgenommen werden.

## Fazit

Malignitäten des lympho-hämatopoetischen Systems sind die frühesten der stochastischen

somatischen Effekte nach niedriger Strahlenexposition. Die Zellen, die zu diesem System gehören, zählen auch zu den strahlenempfindlichsten des somatischen Gewebes. Die Empfindlichkeit der Zielzellen und die Latenzzeiten sind beide Umkehrfunktionen des Alters; das höchste Risiko mit kürzester Latenzzeit ist daher während der foetalen Entwicklung gegeben. Die Abschätzungen der Verdoppelungsdosis liegen zwischen 1 - 3 cGy (10 - 30 mGy). Die *in utero*-Daten sind aus epidemiologischen Studien über diagnostische Röntgenexpositionen abgeleitet worden. Diese Daten sind von der ICRP und folglich auch von den nationalen Strahlenschutzgremien bei Überlegungen der Grenzwertfestsetzung mit Bedacht außer acht gelassen worden, um Hindernisse in der Entwicklung von Kernenergieprogrammen auszuräumen.

Die gesetzliche Grundlage für die StrlSchV ist in allen Ländern die Empfehlung der ICRP, welche sich als älteste internationale Körperschaft darstellt, die sich mit Problemen des Strahlenschutzes beschäftigt. Die Sorge zur Zeit der Entwicklung von Grenzwerten waren vererbare Schäden in der Nachkommenschaft und zukünftiger Generationen. Dieses führte zum Konzept der "genetischen Dosis", welche als Fundament für die Festsetzung von Grenzwerten diente und zugleich Hindernisse in der Entwicklung von Atomenergieprogrammen ausräumte. Die AVV- und KTA-Regeln in diesem Lande sollten als Garanten für die Aufrechterhaltung der Zielsetzungen der StrlSchV dienen, welche den Schutz der Bevölkerung ohne Ausnahmen vorsieht. Diese Verantwortung erfordert eine gründliche Bewertung der Entwicklung in Wissenschaft und Technologie, gefolgt von gewissenhaftem Handeln. Eine Prüfung der Regeln und Bestimmungen ergab, daß dieses nicht der Fall ist. Als logische Konsequenz daraus kann ein AKW (hier das KKK), auch bei voller Einhaltung der Betriebsbestimmungen nicht automatisch von der Schuld einer möglichen Gesundheitsgefährdung freigesprochen werden. Die Unzulänglichkeiten der AVV und KTA-Regeln 1503.1 sind vielseitig und wurden ausgeführt. Das Risiko kindlicher Leukämien wurde hierzulande für Einwohner innerhalb eines 5 km-Radius um ein AKW als signifikant erhöht festgestellt. Gleiches gilt für Großbritannien und in den Vereinigten Staaten. Die erwähnte Studie in der BRD wies auf eine definitive Umkehrbeziehung hin zwischen dem Alter der Kinder und dem Leukämierisiko, im Zusammenhang mit der Dauer des Betriebes eines AKW hin.

Auch wenn die Strahlenbiologie, aufgrund der genauen dosimetrischen Fähigkeiten, für sich in Anspruch nimmt, zu den exakteren Biowissenschaften zu zählen - und in diesem Lande über viele Jahre ein Bestandteil der Biophysik war - gilt dieses nur für Strahlenabsorption in einfachen homogenen nicht lebenden Systemen, wie Gasen und Flüssigkeiten. In komplexen lebenden Organismen ist die Dosimetrie für hochenergetische, elektromagnetische Strahlungen genau bestimmbar. Unsicherheiten entstehen, wenn es sich um kopuskuläre Strahlungen mit geringer Reichweite handelt. Die Komplexität nimmt zu, wenn es sich bei der Quelle der Strahlung um inkorporierte Radionuklide handelt. Erkenntnisse aus diesem Bereich sind sehr

lückenhaft<sup>91</sup>. Es sollte auch anerkannt werden, daß in der Biologie auf molekularer, zellulärer und Gewebeebene während der letzten drei Jahrzehnte enorme Fortschritte erzielt wurden. Diese haben zum besseren Verständnis der Kanzerogenese als solcher und zum Problem der individuellen Empfindlichkeiten beigetragen. Erkenntnisse aus diesen Gebieten müssen noch Niederschlag in der StrlSchV finden.

Emotionsfreie Diskussionen zwischen den informierten Einwohnern der betroffenen Region, dem Betreiber des KKK und der Aufsichtsbehörde werden aufgrund von Haftungssorgen der Betreiber, Sorge vor Verletzungen der Aufsichtspflicht seitens der Behörde und der Tatsache, daß die BI mit Initiativlern diverser Motivationen durchsetzt sind, erschwert. Von der Bundesbehörde für Reaktorsicherheit und der Strahlenschutzkommission ist keinerlei Unterstützung zugesichert worden. Diese Haltung der Nichtunterstützung kann nur aufgrund der Tatsache verstanden werden, daß beide als "geistige Väter" für die inhaltliche Konzeption der StrlSchV und anderer Aufsichtsbestimmungen verantwortlich sind.

#### **Bezug**

- Anhang O: Beitrag von Wolfgang Köhnlein
- Anhang A: Beitrag von Johann J. Broerse & J. Geleijns
- Anhang C2: Beitrag von Otfried Schumacher
- Anhang B2, B3: Beitrag von Inge Schmitz-Feuerhake

### **III. Aufgabe 2: Frage, ob der prädominante Leukämietyp in der Elbmarsch, ALL (akute lymphozytäre Leukämie), als strahleninduzierbar bekannt ist**

#### **III. 1. Strahlenleukämogenese**

Ionisierende Strahlungen sind bekanntlich hocheffiziente leukämogene Agenzien. Die kanzerogene Eigenschaft ionisierender Strahlung wurde bald nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen erkannt, da Ärzte, die die Anwendung von Röntgenstrahlen pioniert haben, die

---

<sup>91</sup>Die Hauptforschungsrichtung der Strahlenbiologie hat vor etwa drei Jahrzehnten die Forschung auf dem Gebiet der Radiotoxikologie von Radionukliden als ein Gebiet von geringer Bedeutung abgetan, nicht nur in Deutschland. Als Folge dieser Entwicklung wurden Institute und Laboratorien, die auf diesem Gebiet tätig waren, nicht weiter finanziert und aufgelöst. Das letzte solcher Institute, wo bedeutsame Arbeiten über die Radiotoxikologie von Lanthaniden und Aktiniden durchgeführt wurden, war das Kernforschungszentrum Karlsruhe, das andere Aufgaben zugeteilt bekam. Diese Entwicklung ist weder von der Strahlenschutzkommission in Bonn noch vom Wissenschaftsrat verhindert worden.