

Strahlentelex

mit **ElektrosmogReport**

Unabhängiger Informationsdienst zu Radioaktivität, Strahlung und Gesundheit

ISSN 0931-4288

www.strahlentelex.de

Nr. 522-523 / 22. Jahrgang, 2. Oktober 2008

Kinderkrebs um Atomkraftwerke:

Wissenschaftlich sind Strahlenrisiken nachgewiesen, die in amtlichen und behördlichen Dosis- und Risikokalkulationen nicht berücksichtigt werden und von denen so mancher auch nicht träumen mag. Welche Erkenntnisse sich wann und wie durchsetzen, wird schlicht von Lobbyinteressen bestimmt. Diese Erkenntnis konnten die Teilnehmer eines Symposions Umweltmedizin am 28. September 2008 in Berlin gewinnen.

Seite 1

Atomwirtschaft:

Eine neue Untersuchung von Rainer Moormann vom Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik (ISR) des Forschungszentrums Jülich über den Betrieb des Thorium Hochtemperaturreaktors in Jülich stellt die bisherige offizielle Sicherheitsarchitektur dieser Reaktorlinie in Frage und erschüttert die Aussagen der internationalen Atomgemeinde über die Vorzüge der neuen Generation IV-Reaktoren in ihren Grundfesten. Ein Bericht von Horst Blume.

Seite 7

Kinderkrebs um Atomkraftwerke

Strahlenrisiken sind wissenschaftlich nachweisbar, von denen sich behördliche Kalkulationen nichts träumen lassen

Evidenz – Kontroverse – Konsequenz: Umweltmedizin-Symposium der Gesellschaft für Strahlenschutz vom 28. September 2008 in Berlin

Die Kinderkrebsstudie des Kinderkrebsregisters in Mainz (KiKK-Studie) alarmierte zum Jahreswechsel 2007/2008 mit dem Nachweis, daß das Erkrankungsrisiko für Leukämie und andere Krebserkrankungen

bei Kindern unter 5 Jahren zunimmt, je näher sie bei einem der deutschen Kernkraftwerke leben.¹ Gegenstand eines am 28. September 2008 von der Gesellschaft für Strahlenschutz e.V. und mit Unterstützung

des Instituts für Humangenetik der Charité auf dem Campus des Virchow Klinikums in Berlin veranstalteten umweltmedizinischen Symposions waren die Hintergründe der Studie und die Kontroversen über die Bewertung der Ergebnisse. Der wissenschaftliche Kontext, die von der Studie unbefriedigend behandelten

Fragen und die Schwierigkeiten, aus den Ergebnissen epidemiologischer Studien angemessene wissenschaftliche, politische, wirtschaftliche und humanitäre Konsequenzen zu ziehen, wurden beleuchtet. Es ging konkret um die Frage, ob die bisher geübte Praxis, ionisierende Strahlen als mögliche Krankheitsverursacher grundsätzlich auszuschließen, weil die errechnete Strahlendosis und das angenommene Strahlenrisiko zu gering seien, um die beobachtete Zunahme der Krankheitsfälle zu erklären, angesichts der Faktenlage noch gerechtfertigt werden kann.

Tatsächlich erweist sich bei näherer Betrachtung nicht nur die Strahlendosis als nach amtlicher Vorschrift generell falsch errechnet, sondern auch das zum Ausschluß verwendete Strahlenrisiko: Sowohl das Lebensalter bei der Bestrahlung, als auch die spezifische Art und Energie der Bestrahlung, deren spezifische „relative

Strahlentelex, Th. Dersee, Waldstr. 49, 15566 Schöneiche b.Bln.
Postvertriebsstück, DPAG, „Entgelt bezahlt“ A 10161 E

¹ s. Strahlentelex Nr. 504-505 v. 10.01.2008, Nr. 508-509 v. 06.03.2008, Nr. 510-511 v. 03.04.2008, Nr. 514-515 v. 05.06.2008, Nr. 516-517 v. 03.07.2008. www.strahlentelex.de/kinderkrebs_bei_atomkraftwerken.htm

biological effectiveness“, bleiben bisher unberücksichtigt. Diese Daten sind auch bisher weitgehend unbekannt oder unpubliziert und würden das ganze heutige Gedankengebäude des amtlichen Strahlenschutzes zum Einsturz bringen. Das ist eine Erkenntnis, die die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Symposiums gewinnen konnten, aber nicht nur das.

Der Behördenweg

Dr. Bernd Grosche, Leiter des Fachbereichs Strahlenschutz und Gesundheit des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), dem Auftraggeber für die KiKK-Studie, stellte klar, daß das Ergebnis der Studie auch nicht wegen der besonderen Erkrankungshäufung um ein einziges Atomkraftwerk (etwa das AKW Krümmel) zustande kam. Denn zur Überprüfung der Ergebnisse hinsichtlich aller Diagnosen wurden sogenannte Sensitivitätsanalysen durchgeführt, in denen jeweils einer der 16 Reaktorstandorte aus der Bewertung ausgeschlossen wurde. Auch in diesen Fällen wurde für die jeweils verbleibenden 15 Standorte entgegen anderen öffentlichen Behauptungen das gleiche Ergebnis eines allgemeinen Abstandstrends erzielt. Das bedeutet, daß die Ergebnisse nicht allein durch einen einzelnen Reaktorstandort bedingt sind, sondern für alle 16 Kernkraftwerksstandorte gemeinsam gelten, betonte Grosche.

Das studienbegleitende Expertengremium hatte zudem bereits in einer Stellungnahme vom 10. Dezember 2007 darauf hingewiesen, daß das Hauptergebnis der Studie, nämlich der Risikoanstieg mit zunehmender Wohnortnähe zum Reaktorstandort für die gesamte Studienregion, nicht wie ebenfalls öffentlich falsch behauptet, auf einen 5-km-Umkreis beschränkt ist, sondern sich bis 50 Kilometer

statistisch signifikant nachweisbar zeigt.

Insgesamt, so Grosche, stelle die Studie einen entscheidenden Fortschritt bei der Bearbeitung der seit etwa 30 Jahren diskutierten Frage nach gesundheitlichen Effekten in der Umgebung von Reaktoren dar, da hier ein epidemiologisch anspruchsvollerer Ansatz als bisher zur Anwendung kam. Durch den Fall-Kontroll-Ansatz konnten individuelle Wohnorte berücksichtigt werden. Das Ergebnis passe zudem zu den Resultaten von in der Vergangenheit durchgeführten ökologischen Studien.

Allerdings, so Grosche, sei nach derzeitigem amtlichen Kenntnisstand die zusätzliche Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Normalbetrieb der Leistungsreaktoren allein zu gering, um die beobachtete Abstandsabhängigkeit des Risikos plausibel erklären zu können: „Dazu müßte die Strahlenbelastung mindestens 1000-mal höher sein.“ Diese Aussage beruhe auf Abschätzungen der Strahlenexposition durch Anwendung der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift“ zu Paragraph 47 der Strahlenschutzverordnung (AVV). Und so meint man beim BfS heute, daß es noch keine befriedigenden Antworten auf die Fragen gibt, die sich aus den Befunden der KiKK-Studie ergeben. Auf der Basis dieser Ergebnisse, das heißt eines geringen, aber nachweisbaren Risikoanstiegs, niedriger, nicht meßbarer, sondern nur abschätzbarer Strahlenbelastungen und fehlenden plausiblen Erklärungen könne den Eltern auch nicht empfohlen werden, aus den Umgebungsregionen der AKW wegzuziehen. Wegen der fehlenden nachvollziehbaren Erklärungen und der nicht nachgewiesenen Verursachung durch einen auslösenden Faktor, fehle zudem derzeit auch eine wissenschaftliche Grundlage, die Grenzwerte zu senken.

Der Wissenschaftsweg

Der Epidemiologe Prof. Dr. Wolfgang Hoffmann, Leiter des Instituts für Community Medicine an der Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald und Mitglied der die KiKK-Studie begleitenden Expertengruppe, stellte dagegen klar, daß seit vielen Jahren ein breiter Konsens innerhalb der Wissenschaft darüber besteht, daß ionisierende Strahlung auch in kleinsten Dosen Mutationen, Krebserkrankungen und Erbschäden auslösen kann. Die Annahme einer Dosis-Wirkungskurve ohne „Schwelle“, das heißt ohne einen Dosisbereich, in dem eine Exposition vollkommen unschädlich ist, werde heute nur noch von wenigen Wissenschaftlern in Zweifel gezogen. Bei den strahlenbedingten Krebserkrankungen stünden Leukämien und andere Hämoblastosen, der weibliche Brustkrebs und Tumore des Zentralnervensystems an vorderer Stelle, jedoch würden auch non-Hodgkin Lymphome und weitere maligne Neoplasien durch ionisierende Strahlung ausgelöst. Zu den malignen Erkrankungen kämen strahleninduzierte nicht-maligne Erkrankungen hinzu. In jüngerer Zeit sprächen epidemiologische Befunde dafür, daß diese nicht nur nach hohen Dosen, sondern ebenfalls bereits im niedrigen Dosisbereich vorkommen können.

Die umfassendsten Daten liegen für das Leukämierisiko vor. So wurde in vielen Kollektiven ein erhöhtes Leukämierisiko nach Exposition gegenüber ionisierender Strahlung sowohl aus natürlichen als auch aus künstlichen Quellen beobachtet. Die Induktion von Leukämie könne in jeder Lebensphase stattfinden. Erhöhte Leukämierisiken wurden sowohl nach präkonzeptioneller Exposition, nach pränataler Exposition und nach Exposition nach der Geburt beobachtet.

Erhöhte Risiken für Brustkrebs wurden bei Radium-Zif-

fernblattmalerinnen, Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki und nach Strahlentherapie gutartiger Erkrankungen beobachtet. Auch nach diagnostischen Röntgenaufnahmen (Patientinnen mit Tuberkulose bzw. Skoliose) und bei Medizinisch-Technischen Röntgenassistentinnen traten verstärkt Mammakarzinome auf. Auch bei Männern wurde eine erhöhte Inzidenz von Brustkrebs nach diagnostischem Röntgen beobachtet. In neueren Untersuchungen wird Brustkrebs beim weiblichen fliegenden Personal beobachtet; ursächlich ist vermutlich die Exposition gegenüber kosmischer Höhenstrahlung.

Befunde zu Hirntumoren bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen (Gliome und Meningiome) stammen beispielsweise aus Studien zu Spätfolgen diagnostischer Röntgenanwendung, vor allem der Zahnradiologie. Daneben wurden in einer gut untersuchten Kohorte israelischer Kinder nach Strahlentherapie wegen Tinea capitis erhöhte Hirntumorinzidenzen beobachtet, daneben auch Tumoren der Schilddrüse, der Brust und weiterer Organe.

Der Bremer Epidemiologe Prof. Dr. Eberhard Greiser, ebenfalls Mitglied der KiKK-Expertenkommission, kommt nach Betrachtungen über den Einfluß von Design, Durchführung und Interpretation epidemiologischer Studien auf die Risikokommunikation zu dem Schluß, daß etwa die zur Ermittlung des Krebsrisikos von Beschäftigten in Kernkraftwerken durchgeführten Studien eine Reihe von gravierenden methodischen Fehlern aufweisen, die insgesamt eine wissenschaftlich belastbare Schätzung des Krebsrisikos verhindern. Diese Fehler sind die Wahl der falschen Zielgröße, nämlich Sterblichkeit anstatt Erkrankungshäufigkeit, die Wahl der falschen Bezugspopulation, nämlich nationale Sterblichkeit statt Sterblichkeit einer Ver-

gleichskohorte bzw. Wahl der strahlenexponierten Gruppe insgesamt in einzelnen Schichten als Referenzgruppe, statt einer nicht-exponierten Gruppe oder statt der am geringsten exponierten Gruppe, die Wahl einer Teilgruppe von strahlenexponierten Personen statt der Gesamtgruppe, die Wahl eines zu kleinen Beobachtungszeitraums und die Vermeidung eines Designs zur Berücksichtigung aller Störvariablen (Kohortenstudie statt Fall-Kontroll-Studie).

Die Epidemiologie, so Greiser, ist ein Fachgebiet, das sich wie alle wissenschaftlichen Disziplinen methodisch ständig weiter entwickelt. Die in den Studien über das Krebsrisiko von Mitarbeitern von Kernkraftwerken offenkundigen Defizite seien schon lange vor den ersten Designdiskussionen der an den Studien beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als solche erkennbar gewesen, weil sie lange etablierten epidemiologischen Standards entgegenstehen. Es stelle sich die Frage, wie es dennoch zu diesen Defiziten kommen konnte, was sich aus den Publikationen selbst nicht beantworten lasse. Und das gelte entsprechend auch für die beiden Teile der KiKK-Studie: Aus deren Abschlußberichten und den auf der Basis der Daten der KiKK-Studien entstandenen Publikationen (Kaatsch et al. 2008; Spix et al. 2008) erschließe sich nicht, aus welchem Grunde die Mainzer Wissenschaftler im Rahmen der öffentlichen Risikokommunikation das tatsächliche Ergebnis stark relativierende Zahlen verwenden.

Der Mythos Objektivität

Die jüngsten Berichte über eine erhöhte Krebsinzidenz in der Nähe von Kernkraftwerken zeigen dem US-amerikanischen Epidemiologen Professor Dr. Steve Wing von der School of Public Health der University of North Carolina, Chapel Hill, zufolge beispiel-

haft die auftretenden logischen Probleme, wenn die Annahmen, daß Emissionen und Strahlendosen zu klein seien, um eine meßbare Veränderung der Inzidenz zu erzeugen, die Forscher daran hindern, einen nachgewiesenen Effekt als Stütze der untersuchten Hypothese zu deuten. Dasselbe logische Problem sei schon in den 1990er Jahren aufgetreten, als Studien über Krebsinzidenz in Beziehung zu Strahlenemissionen nach der Kernschmelze im Kraftwerk Three Mile Island bei Harrisburg, Pennsylvania (USA) veröffentlicht wurden. Der Fall Three Mile Island illustrierte die logischen Probleme bei der Prüfung von Hypothesen und die Bedeutung sozialer und ökonomischer Faktoren bei der Konstruktion naturwissenschaftlichen Wissens. In den letzten Jahrzehnten sei Wissenschaftstheoretikern und den Wissenschaftlern selbst zunehmend bewußt geworden, auf welche komplexe Weise naturwissenschaftliche Erkenntnisse durch ihren gesellschaftlichen Kontext geformt wird. Traditionelle Begriffe von Objektivität sind demnach fragwürdig geworden. Bei der Arbeit brauchten Naturwissenschaftler ein Verständnis ihres Handelns, das den naiven Mythos, Naturwissenschaft könne objektiv sein, indem gesellschaftliche Einflüsse vermieden werden, ebenso ausschließe wie die reduktionistische Ansicht, naturwissenschaftliche Inhalte seien einfach durch Wirtschaftsinteressen bestimmt. Eine differenzierte Sicht auf den Prozeß der Erkenntnisgewinnung könne dagegen die Ethik der Forschung verbessern und die Fähigkeit der Naturwissenschaften steigern, einen Beitrag zu unparteiischer Politik zu leisten, besonders in Gebieten wie Umwelt- oder Arbeitsmedizin, die direkte Implikationen für Profite, Regulierungen, rechtliche

Verantwortung und soziale Gerechtigkeit haben.

Wing diskutiert deshalb Untersuchungen über die gesundheitlichen Folgen des Unfalls von Three Mile Island im Jahre 1979 als Beispiel dafür, wie naturwissenschaftliche Erklärungen durch gesellschaftliche Vorstellungen, Normen und Vorurteile geformt werden. Er beschreibt, wie eine Forschungspraxis, die sich unter dem Einfluß von Medizin und Kernphysik entwickelte, Beobachtungen von Mitgliedern der strahlenbelasteten Gemeinden integrierte, was die Fragestellung von Untersuchungen, die Interpretation von Beweisen, indirekte Schlüsse auf die biologischen Mechanismen bei der Verursachung von Beweisen bei Gerichtsprozessen beeinflusste. Wenn sie die Geschichte und Philosophie ihrer Disziplinen in Betracht ziehen, meint Wing, könnten tätige Forscher die Festigkeit, Objektivität und soziale Verantwortung der Umwelt- und Gesundheitswissenschaften durchaus mehren.

Tritium und Kohlenstoff-14 aus AKW

Die KiKK-Studie fand ein 2-fach erhöhtes Leukämierisiko und ein 1,6-fach erhöhtes Risiko für solide Tumoren bei Kleinkindern, die in der Nähe deutscher Atomkraftwerke leben. Die Studie stellte fest, daß die Zunahmen klar mit der Nähe zu den Kraftwerken verknüpft sind, bot jedoch keine Erklärungen zu wahrscheinlichen Mechanismen. Die Studie behauptete, daß Strahlendosen in der Nähe von Kernkraftwerken für Kleinkinder zu niedrig seien, um die beobachteten Krebsrisiken hervorzurufen, gab jedoch keine Schätzungen möglicher Strahlendosen und Risiken für Embryonen, Föten, Neugeborene und Kleinkinder in der Umgebung von Kernkraftwerken. Das kritisierte der Londoner Wissenschaftler Dr. Ian Fairlie. Dagegen, so

Fairlie, stellten englische Regierungsberichte fest, daß offizielle Schätzungen für Dosen und Risiken von internen Strahlern sehr große Unsicherheiten enthalten können. Folglich könnten auch die geschätzten Strahlendosen aus AKW-Emissionen große Unsicherheiten enthalten – genug, um Strahlung als Ursache für die Anstiege der Krebserkrankungen in der KiKK-Studie zu sehen.

Die Zunahme der Krebsfälle könnte Fairlie zufolge durchaus auf eine hohe Aufnahme von Radionukliden durch Schwangere in der Umgebung von AKWs zurückzuführen sein. Nuklid-Freisetzungen durch AKWs seien sehr episodisch und nicht kontinuierlich. Ein plötzlicher Anstieg von Nuklid-Emissionen könnte Embryonen und Feten, einschließlich des roten Knochenmarks, bei hohen Konzentrationen in der Schwangeren radioaktiv markieren. Mütter in der Nähe von AKWs könnten also schließlich radioaktiv kontaminierten Nachwuchs zur Welt bringen, ohne selbst danach als besonders belastet zu erscheinen. Hohe Nuklidkonzentrationen während der Monate vor und nach der Geburt könnten für Neugeborene zu einer Akkumulation hoher Strahlendosen führen. Diese könnten genügend hoch sein, um die Zunahme an Krebsfällen zu erklären, wenn statt der gängigen ICRP-Risikofaktoren realistische Risikofaktoren für Leukämie angesetzt würden. Gegenwärtig werden Ganzkörperisiken für Populationen aller Altersstufen angesetzt, die vielleicht um einen Faktor um 100 zu niedrig seien, wenn nach den Leukämierisikofaktoren für Exposition in utero vorgegangen würde, die sich aus den Daten der Oxford Study of Childhood Cancer ergeben. Fairlie untersuche auch, welche der verschiedenen emittierten Radionuklide bei den deutschen AKWs vermutlich den Krebsanstieg

verursachen und kommt zu dem Schluß, daß Tritium (H_3) und Kohlenstoff-14 wahrscheinliche Kandidaten sind, denn sie würden mit am meisten emittiert und hätten sehr ungewöhnliche Eigenschaften. So müßten etwa wegen der besonderen Mobilität des Tritiums, das aus den Atomkraftwerken austritt, die in deren Nähe lebenden Menschen Lebensmittel mit höherem Tritiumgehalt essen.

Schon der Bremer Physiker Otfried Schumacher hatte bereits in einem 1998 erstellten und im Rahmen eines im Jahre 2001 veröffentlichten Strahlenbiologischen Gutachten für das Ministerium für Finanzen und Energie des Landes Schleswig-Holstein (A.F.G. Stevenson et al. 2001²) festgestellt, daß Aufgrund von signifikanten individuellen Unterschieden in der biologischen Wirksamkeit ionisierender Strahlung auch beim Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung durch die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift“ (AVV) nicht ausgeschlossen ist, daß für einen bestimmten Prozentsatz der Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen das Strahlenrisiko höher ist – und zwar etwa hundertfach höher –, als beim Erlaß der Strahlenschutzverordnung als akzeptabel festgelegt wurde. Deshalb, so Schumacher, werde die AVV zum einen den an sie gestellten Anforderungen nicht gerecht, nämlich Modelle und Parameter zur Berechnung der Strahlenexposition so festzulegen, daß bei deren Anwendung die zu erwartende Strahlenexposition in keinem Fall unterschätzt wird und zu garantieren, daß das resultierende Strahlenrisiko unterhalb des vom Ordnungsgeber als akzeptabel erachteten Wertes bleibt. Andererseits ent-

spreche die AVV aber auch nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik, welcher im Zusammenhang mit den gestellten Problemen neben einer deterministischen Betrachtungsweise auch die Verwendung probabilistischer Methoden und Verfahren nahelegen würde, zum Beispiel in Form von Verteilungsfunktionen für verwendete Faktoren und Parameter sowie Bestimmung der mit der Berechnung einhergehenden Unsicherheiten.

Modellrechnungen gegen die Realität am Beispiel der Elbmarsch

Bei der chronischen Exposition einer Bevölkerung durch radioaktive Stoffe kommt es durch mehrere Wirkungsketten zur Induktion von Leukämieerkrankungen: durch Bestrahlung im Mutterleib, durch Bestrahlung der Individuen selbst und über die Keimbahn der Eltern. Die erforderliche Dosis für einen statistisch erkennbaren Effekt ist daher wesentlich kleiner als offiziell vorausgesetzt. Die Dosis kann nicht direkt gemessen werden und wird daher anhand der Emissionen berechnet. Die dabei verwendeten Modellparameter weisen hohe Unsicherheiten auf. Die behauptete „Konservativität“ der Ergebnisse ist unbewiesen. Eine meßtechnische Überprüfung der errechneten Dosiswerte durch die Umgebungsüberwachung ist ebenfalls nicht möglich. Im Falle des AKW Krümmel in der Elbmarsch liegen gemessene Abweichungen von den berechneten Dosiswerten vor. Die Verdopplungsdosis für Kleinkinder unter 5 Jahre läßt sich nach Angaben aus der Literatur für externe Bestrahlung mit Gamma- und Röntgenstrahlung zu etwa 10 Millisievert (mSv) abschätzen. Für den in der KiKK-Studie gefundenen Effekt einer Leukämieerhöhung um 27 Prozent würden daher zusätzliche 0,6 mSv pro Jahr ausreichen. Die verbleibende Diskrepanz zwi-

schen amtlich ermittelter Dosis und beobachtetem Effekt läßt sich ohne weiteres durch die Unsicherheiten der bei der Dosisberechnung verwendeten Parameter erklären, im Fall Krümmel ferner durch die real festzustellenden Umgebungs-kontaminationen.

Das erklärte die Medizinphysikerin Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake, die Mitglied der vormaligen schleswig-holsteinischen und niedersächsischen Kommissionen zur Aufklärung der Elbmarschleukämien war. Die Behauptung, die beobachtete Leukämiehäufung bei deutschen Kernkraftwerken sei nicht auf Strahlung zurückzuführen, weil die Dosis durch die radioaktiven Emissionen der Anlagen nicht ausreiche, sei deshalb wissenschaftlich nicht haltbar. Der scheinbare Widerspruch löse sich auf, wenn man die strahlenbiologischen Erkenntnisse über die Empfindlichkeit von Kleinkindern, Embryonen und Föten berücksichtigt, sowie das genetische Risiko. Die verbleibende Diskrepanz zwischen amtlich ermittelter Dosis und beobachtetem Effekt lasse sich ohne weiteres durch die Unsicherheiten der bei der Dosisberechnung verwendeten Parameter erklären und im Fall Krümmel ferner durch die dort real festzustellenden Umgebungs-kontaminationen.

Dr. Sebastian Pflugbeil, Präsident der Gesellschaft für Strahlenschutz liefert dazu eine besondere Erklärung für die radioaktiven Umweltkontaminationen in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen AKW Krümmel und GKSS in der Elbmarsch südöstlich bei Hamburg. In der unmittelbaren Umgebung der kerntechnischen Anlagen dort bei Geesthacht trat in den Jahren 1990/91 eine abrupte Erhöhung der Leukämiefälle bei Kindern auf. Bis in die Gegenwart ist die Leukämieinzidenz dort dreifach signifikant erhöht geblieben.

Auf der Suche nach den Ursachen, so Pflugbeil, konzentrierte sich die Aufmerksamkeit zunächst auf das Kernkraftwerk Krümmel. Später wurde durch den Nachweis ungewöhnlicher Nuklidkonzentrationen und Aktivitätsverhältnisse die Aufmerksamkeit auf die nahebei befindliche Forschungsanlage GKSS ausgedehnt. Beide kerntechnischen Anlagen hätten Anteil an einer Kontamination der Umgebung. In seinem Beitrag untersuchte Pflugbeil exemplarisch, zu welchen Strahlendosen Radionuklide führen, die dem Bereich der Kernforschung (GKSS) zuzuordnen sind.

Es kann inzwischen als erwiesen angesehen werden, so Pflugbeil, daß sich dort am 12. September 1986 ein Radioaktivitätsunfall im Gebiet der kerntechnischen Anlagen ereignet hat. Es lasse sich ableiten, daß nicht nur Spalt- und Aktivierungsprodukte, sondern auch Kernbrennstoffe und Brutprodukte freigesetzt wurden, die sich heute in der Umgebung noch nachweisen lassen. Für mehrere Stunden habe dort offenbar die Radioaktivitätskonzentration in der Luft mehr als das 400-fache der Tschernobylkontamination in Norddeutschland betragen. Die Strahlenbelastung der Bevölkerung müsse im wesentlichen durch Einatmen der radioaktiven Stoffe erzeugt worden sein, wobei auch Expositionen in der Folgezeit auftraten.

Die freigesetzten radioaktiven Stoffe entstammten einem Hybridsystem, das heißt einem kerntechnischen Experiment, bei dem die Prozesse der Kernspaltung und der Fusion gleichzeitig angewendet werden sollten. Über die genaue Zusammensetzung und experimentelle Anordnung sind uns jedoch keine Publikationen bekannt, erklärt Pflugbeil. Das Inhalationsgemisch mußte daher aus den Ergebnissen verschiedener nuklidspezifischer Messkam-

² www.strahlentelex.de/kinderkrebs_bei_atomkraftwerken.htm#strahlenbiologie

pagnen in der Umgebung rekonstruiert werden. Der verwendete Kernbrennstoff habe demnach aus Thorium und Uran in etwa der Zusammensetzung bestanden, wie sie in Hochtemperaturreaktoren eingesetzt wurden. Dies sei Ergebnis von Bodenmessungen, die vornehmlich erst in den Jahren 2001 bis 2004 durchgeführt wurden. Die aufgefundenen Thoriumisotope ergeben demnach die wahrscheinlich größten Beiträge zur Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Elbmarsch.

Als Belastungspfade für die Leukämieinduktion kommen dabei die somatische Exposition kleiner Kinder, die Exposition im Mutterleib und die genetische Induktion über präkonzeptionell exponierte Eltern infrage. Die Knochenmarksdosis für Kleinkinder ergibt sich daraus zu 363 mSv, die leukämie relevanten Gonadendosen bei Erwachsenen zu 58 oder 59 mSv. Die Embryonaldosis erscheine dagegen vernachlässigbar. Das im Raum Geesthacht beobachtete Leukämieauftreten bei Kindern könne mit diesen Expositionen widerspruchsfrei erklärt werden. Die heute noch bestehenden Risikofaktoren müßten untersucht und beseitigt werden, fordert Pflugbeil.

Die Katastrophe von Tschernobyl als Glücksfall für die epidemiologische Forschung in Berlin

Der Berliner Humangenetiker Prof. Dr. Karl Sperling führte ein weiteres Beispiel für die Schadwirkungen von Umwelt-radioaktivität an. Für ihn waren der Reaktorunfall von Tschernobyl und die damals herrschende besondere Situation in Berlin in epidemiologischer Hinsicht einmalig. So war die gesamte Bevölkerung Berlins zu einem diskreten Zeitpunkt einer zusätzlichen, geringen Strahlendosis ausgesetzt. Die erste radioaktive Wolke passierte Berlin am 29.4.1986, die zweite am 4.

Mai. Dabei herrschte trockenes, sonniges Wetter. Durch einen heftigen Regenschauer in der Nacht zum 8. Mai wurden dann praktisch sämtliche Nuklide aus der Atmosphäre entfernt. Zu diesem Zeitpunkt erreichte die externe Belastung ihr Maximum mit 60 Prozent über dem Normalwert, eine biologisch scheinbar nahezu unerheblichen Dosis.

In epidemiologischer Hinsicht einzigartig war auch die Situation in West-Berlin im Hinblick auf die Erfassung von Trisomie 21-Fällen, weil aufgrund der damaligen politischen Insellage der Stadt für einen Zeitraum von 10 Jahren die Häufigkeit praktisch sämtlicher prä- und postnatal diagnostizierter Fälle angegeben und in Bezug zu allen relevanten demographischen Faktoren, insbesondere dem mütterlichen Alter, gesetzt werden konnte. Dies hängt im wesentlichen damit zusammen, daß Sperlings Institut für Humangenetik mit seiner angeschlossenen genetischen Beratungsstelle und einem kooperierenden Labor der Universitätsfrauenklinik allein für die genetische Beratung und Diagnostik in Berlin zuständig war. Für den einen 10-Jahres-Zeitraum blieben so die Kriterien für die Erfassung der Trisomie 21-Fälle unverändert und die Erfassung der Trisomie 21-Fälle war weitestgehend vollständig.

In der Zeit von Januar 1980 bis Dezember 1989 wurden unter den etwa 190.000 Lebendgeborenen 226 Fälle mit einer freien Trisomie 21 diagnostiziert. Hinzu kommen 101 Fälle, die im Rahmen der etwa 13.000 vorgeburtlichen Analysen festgestellt wurden. Geht man davon aus, daß ohne die vorgeburtliche Diagnostik 70 Prozent davon geboren worden wären, kommt man zu einer Gesamtzahl von 297 Fällen. Daraus ergibt sich eine Prävalenz von 0,16 Prozent oder einem Kind mit Trisomie 21 pro 640 Lebendge-

borene. Auch diese hohe Prävalenz spricht für die Vollständigkeit der Erfassung.

Die monatliche Aufschlüsselung der Fälle mit freier Trisomie 21 zeigt eine zufällige Verteilung mit einer Häufigkeit von 2 bis 3 pro 1.000 Neugeborene. Eine Ausnahme bildet nur der Januar 1987 mit einem Cluster von 12 Fällen. Unterzieht man diese Daten einer Zeitreihenanalyse, so liegt dieser Wert deutlich außerhalb des 99 Prozent Konfidenzintervalls. Dabei war klar, daß die beiden Hauptfaktoren, die die Prävalenz der Trisomie 21 unter Neugeborenen bestimmen, das mütterliche Alter und die Zahl der vorgeburtlichen Untersuchungen diese Häufung nicht erklären konnten. Es mußte sich daher entweder um ein sehr seltenes Zufallsereignis oder die Wirkung eines exogenen Faktors handeln. Um letzteres herauszufinden, wurden die Ehepaare durch eine Ärztin interviewt. Die Anamnesen ergaben jedoch keine besonderen Auffälligkeiten, auch keine besonders ausgeprägte Angstreaktion nach dem Reaktorunfall. So haben nur zwei Elternpaare auf den Verzehr von Fleisch- und Milchprodukten danach verzichtet.

Legt man den ersten Tag der letzten Menstruation zugrunde, fand die Konzeption von 5 Fällen genau zum Zeitpunkt der höchsten Strahlenbelastung statt. Berücksichtigt man die Unsicherheit, die oftmals diesen Angaben zugrunde liegt und die Variabilität des präovulatorischen Zyklus, kann man nicht ausschließen, daß auch 4 weitere Kinder mit Trisomie 21 in der Zeit der höchsten Strahlenbelastung oder kurz danach gezeugt wurden. In 6 Fällen konnte bestätigt werden, daß der Fehler bei der Oogenese eingetreten ist, also unmittelbar zum Zeitpunkt der Konzeption. In einem Fall lag ein non-disjunction während der Spermatogenese und damit etwa 2 Monate vor der Kon-

zeption vor. Ein Ehepaar war zu diesem Zeitpunkt in Sardinien, also nicht in Berlin. Insgesamt konnte nicht ausgeschlossen werden, daß in 8 Fällen die Fehlverteilung der Chromosomen zum Zeitpunkt der höchsten Strahlenbelastung stattfand. Allerdings war diese, gemessen an der zusätzlichen Gamma-Ortsdosisleistung, also der externen Strahlung, die die Keimdrüsen erreichte, so gering, daß ein Aufenthalt in den Hochalpen ein größeres Risiko darstellen sollte. Die Annahme eines kausalen Zusammenhanges mit dieser geringen Strahlendosis erschien von daher zunächst nicht sehr wahrscheinlich.

In dieser Situation kann man nur versuchen, diese Beobachtung an einer unabhängigen Klientel zu überprüfen. Hierfür boten sich die vorgeburtlichen Chromosomenanalysen des Jahres 1986 in der Bundesrepublik an, speziell diejenigen Untersuchungen, denen eine Altersindikation zugrunde lag und die daher als weitgehend auslesefrei angesehen werden können. Unter den 28.773 vorgeburtlichen Chromosomenanalysen nach Amniozentese gab es 237 Fälle mit einer freien Trisomie 21. Überraschenderweise fand sich auch hier die größte Häufigkeit genau zu dem Zeitpunkt, in dem auch die Fälle in Berlin empfangen wurden. Es wurde sogar eine gewisse Dosis-Effekt-Beziehung beobachtet. In dem stärker belasteten süddeutschen Bereich, in Bayern und Baden-Württemberg, traten 11 statt der erwarteten 4 Fälle auf, nördlich davon 6 statt 5 Fälle. Nimmt man noch die anderen Aneuploidien hinzu, so fanden sich 4 im süddeutschen und nur eine im norddeutschen Bereich. Der gleiche Effekt wurde auch in Weißrußland gefunden. Damit war der Zufall als Erklärung für den Berliner Trisomie 21-Cluster praktisch ausgeschlossen. Seit Januar 1987 wird zu-

dem auch ein länger anhaltender Effekt beobachtet.

Ein Erklärungsmodell für das Ergebnis der KiKK-Studie

Für das auffälligste Ergebnis der KiKK Studie, eine Verdopplung des Leukämierisikos bei Kleinkindern im Nahbereich von Kernkraftwerken, schlägt der Physiker Dr. Alfred Körblein aus Nürnberg ein Erklärungsmodell vor. Denn einerseits sei die Erhöhung statistisch so deutlich signifikant, daß Zufall praktisch ausgeschlossen werden könne. Andererseits stehe das Ergebnis offizieller, das heißt nach amtlichen Vorgaben (nämlich der AVV) vorgenommene Dosis- und Risikoschätzungen um etwa den Faktor 1000 dazu im Widerspruch, wie bereits Dr. Bernd Grosche vom BfS erklärte. Andere Risikofaktoren, so Körblein, sind wegen der Konzentration der Erhöhung des Leukämierisikos auf den Nahbereich der KKW unplausibel.

Systematische Fehler bei der Ermittlung der Strahlenbelastung durch die Ausbreitungsrechnungen nach AVV, so Körblein, sowie zu kleine Dosisfaktoren für inkorporierte Radionuklide, könnten zusammen durchaus zu einer Unterschätzung der Strahlenbelastung um ein bis zwei Größenordnungen (Faktor 10 bis 100) führen. Um die Ergebnisse der KiKK Studie zu erklären, wäre aber ein Faktor 1000 erforderlich.

Bei konventionellen Dosisbetrachtungen wird aber stillschweigend vorausgesetzt, daß eine Verdopplung des Risikos auch eine Verdopplung der Strahlendosis erfordert, daß also die Beziehung zwischen Dosis und Risiko linear ist, erklärt Körblein weiter. Ist dies nicht der Fall, so führe eine Erhöhung der Hintergrundstrahlung im Nahbereich von Kernkraftwerken zu einer überproportionalen Erhöhung des Risikos.

Über die Form der Dosis-Wirkungsbeziehung bei Strahlendosen im Bereich der Hintergrundstrahlung gibt es bisher keine gesicherten Erkenntnisse. Nach Tschernobyl zeigte sich jedoch im Jahr 1987 eine signifikante Erhöhung der Perinatalsterblichkeit in Deutschland, obwohl die zusätzliche Strahlenbelastung deutlich unterhalb der Hintergrundstrahlung lag. Dieses Ergebnis widerspreche der Annahme einer Schwellendosis von 100 mSv für teratogene Schäden. Außerdem fand sich ein stark positiv gekrümmter Zusammenhang zwischen Cäsiumbelastungen von Schwangeren und der Perinatalsterblichkeit. Die Sterblichkeit, so Körblein, war proportional zum Exponenten 3,5 der Cäsiumbelastung.

Werde angenommen, daß auch für die pränatale Induktion von Leukämien eine mit dem Exponenten 3,5 gekrümmte Dosis-Wirkungsbeziehung gilt, dann werde eine um 10 Prozent erhöhte Strahlenbelastung ein um 40 Prozent erhöhtes Risiko bewirken, erklärt Körblein weiter. Noch deutlicher würden die Effekte, wenn davon ausgegangen werden könne, daß die Emissionen von Kernkraftwerken starken zeitlichen Schwankungen unterworfen sind. Angenommen, die gesamte Strahlendosis eines Jahres werde nur in einem Zehntel des Jahres emittiert, so führe eine um 10 Prozent erhöhte mittlere Strahlenbelastung zu einem um 100 Prozent erhöhten Strahlenrisiko.

Eine gekrümmte Form der Dosis-Wirkungsbeziehung folge allein aus der plausiblen Annahme, daß sowohl die individuellen Strahlendosen als auch die Strahlenempfindlichkeiten in einer Bevölkerung Zufallsverteilungen (Lognormalverteilungen) folgen. Die Rechnung ergibt laut Körblein, daß die Dosis-Wirkungsbeziehung dann die Form einer kumulierten Lognormalverteilung annimmt. Diese

weise bei kleinen Werten eine stark positive Krümmung auf.

Laut Körblein ist damit möglicherweise das fehlende Glied gefunden, um die erhöhte Krebs- und Leukämieinzidenz bei Kleinkindern auch quantitativ zu erklären. Allerdings gelinge dies nur unter der Voraussetzung, daß die offiziellen Rechnungen die Strahlenbelastung im Nahbereich von Kernkraftwerken um ein bis zwei Größenordnungen unterschätzen.

In einer Reihe von Arbeiten hat auch Dr. Hagen Scherb vom Institut für Biomathematik und Biometrie des Helmholtz-Zentrum München gezeigt, daß es möglich ist, ökologische Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen der zusätzlichen Kollektivdosis auf Landkreis- beziehungsweise Gemeindeebene nach Tschernobyl auf der einen Seite und Totgeburtlichkeit, Fehlbildungsrate, und Geschlechtsverhältnis der Lebend- bzw. Totgeburten auf der anderen Seite nachzuweisen. Eine erweiterte Auswertung etwa des Geschlechtsverhältnisses der Lebendgeburten vor und nach Tschernobyl zeigt, daß in einem relativ großen Teil Europas (knapp 50 Millionen Geburten von 1982 bis 1992) mit einer 5-stelligen Zahl von vorgeburtlich verlorenen Kindern durch eine strahleninduzierte Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses zum männlichen Geschlecht hin gerechnet werden muß.

Fazit: Am 28. September 2008 trafen sich Epidemiologen, Statistiker, Physiker, Biologen und Ärzte mit Journalisten, Behördenvertretern und Politikern in der Berliner Charité zu einem Symposium, um mit aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen Schwachstellen der „Epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK) des Mainzer Kinderkrebsregisters“ nachzubessern. Unter den Teilnehmern waren sieben

Wissenschaftler, die als Externe (nicht als Autoren) an der Entwicklung der Methode und der Begleitung der KiKK-Studie beteiligt waren.

Die Bewertung der Autoren der KiKK-Studie, daß das erhöhte Krebs- und Leukämierisiko bei Kindern unter 5 Jahren in der Nähe der deutschen Kernkraftwerke grundsätzlich nicht auf die radioaktiven Emissionen der KKW zurückgeführt werden können, stellte sich als ebenso unhaltbar heraus wie die These, daß die errechnete Strahlenbelastung um viele Größenordnungen zu gering sei, um Krebs oder Leukämie verursachen zu können. Es wurde belegt, daß solche täuschenden Aussagen in der Geschichte des Strahlenschutzes immer wieder vorgetragen wurden, um ungestört weitermachen zu können wie bisher. Aus verschiedenen Blickwinkeln wurde exemplarisch aufgezeigt, daß in der KiKK-Studie nicht berücksichtigte Fakten sehr wohl ausreichen, die tragischen Erkrankungen der Kinder als strahleninduziert zu erklären.

Der Präsident der Gesellschaft für Strahlenschutz, Dr. Sebastian Pflugbeil, fordert mit Nachdruck, die erschreckenden Befunde der KiKK-Studie ernstzunehmen. Sie verpflichten die politischen Entscheidungsträger, das seit Jahrzehnten anerkannte Prinzip der Vorsorge endlich praktisch umzusetzen. Pflugbeil appelliert an Wissenschaftler, Medienvertreter und Politiker, nicht zu Lasten der Gesundheit unserer Kinder mit halbbrichtigen Darstellungen ganz falsche Schlußfolgerungen zu suggerieren. Wenn am Ende einer epidemiologischen Untersuchung ein signifikanter Zusammenhang herauskommt und die Autoren dann vorgeben, daß das aber auch Zufall sein könnte, dann wird Epidemiologie zur Demagogie.

Pflugbeil appelliert auch an den gesunden Menschenverstand: Wer nachweist, daß

Kinder umso häufiger erkranken, je näher sie an dem nächsten KKW-Schornstein wohnen und Radioaktivität als mögliche Ursache grundsätzlich ausschließt, macht sich nicht nur lächerlich. Er wirft die Frage auf, was denn dann aus solch einem Schornstein die Kinder krank macht. Ist es wirklich beruhigend, daß man

das bisher nicht herausgefunden hat?

Das Symposium hat zahlreiche Ansatzpunkte für eine weitere intensive Diskussion ergeben, die innerhalb der verschiedenen Disziplinen, vor allem aber auch untereinander fortgeführt werden soll. Mit Bedauern wurde zur Kenntnis genommen, daß das Mainzer

Kinderkrebsregister die Einladung zu dieser offenen Diskussion ausgeschlagen hat. Ansonsten jedoch hat die interdisziplinäre freie Diskussion über ein brisantes Thema einen Sprung nach vorne gemacht.

ThD/SP

Gesellschaft für Strahlenschutz e.V., Symposium Umweltmedizin: Evidenz – Kontroverse – Konse-

quenz, Tagungsreader und Materialiensammlung, Berlin 28. Sept. 2008. 112 Seiten A4, incl. Materialiensammlung auf CD. € 22,- einschließlich Versand. Solange der Vorrat noch reicht, sind Bestellungen der Druckfassung über Strahlentelex möglich. Im Internet abrufbar unter www.strahlentelex.de/kinderkrebs_atomkraftwerke.htm

Atomwirtschaft

Inhärente Störfälle und Radioaktivitätsabgaben bei HTR-Linie

Von Horst Blume, Bürgerinitiative Umweltschutz Hamm

Eine neue Untersuchung von Rainer Moormann vom Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik (ISR) des Forschungszentrums Jülich über den Betrieb des 1988 stillgelegten Thorium Hochtemperaturreaktors (THTR) AVR in Jülich stellt nicht nur die gesamte bisherige offizielle Sicherheitsarchitektur dieser Reaktorlinie in Frage, sondern erschüttert auch die Aussagen der internationalen Atomgemeinschaft über die Vorteile der neuen Generation IV-Reaktoren in ihren Grundfesten. Bemerkenswerterweise kommt diese Kritik von einem Wissenschaftler, der bereits seit vielen Jahren regelmäßig in Rahmen des Forschungszentrums Jülich an der HTR-Linie forscht und hierzu publiziert. In bisher nicht gekannter Offenheit werden in dieser „sicherheitstechnischen Neubewertung“ erstmals erhebliche Probleme bei dem Betrieb und dem gegenwärtigen Rückbau des Allgemeinen Versuchsreaktors (AVR) in Jülich offengelegt und erhebliche radioaktive Kontaminationen thematisiert.

Die Ergebnisse im Einzelnen:

1. Viele Sicherheitsprobleme im AVR wurden bisher verschwiegen. Zitat Moormann:

„Diese Arbeit befaßt sich vorwiegend mit einigen unzureichend veröffentlichten aber sicherheitstechnisch relevanten Problemen des AVR-Betriebes.“

2. Der Rückbau bringt es an den Tag: Es fanden innerhalb der Anlage bedeutend höhere Kontaminationen als vorausgerechnet statt. Radioaktiver Graphitstaub ist „mobil“. „Der AVR-Kühlkreislauf ist massiv mit metallischen Spaltprodukten (Sr-90, Cs-137) kontaminiert, was zu erheblichen Problemen beim gegenwärtigen Rückbau führt. Das Ausmaß der Kontamination ist zwar nicht exakt bekannt, aber die Auswertung von Spaltproduktlagerungsexperimenten läßt darauf schließen, daß diese Kontamination zum Betriebsende einige Prozent eines Coreinventars erreichte und damit um Größenordnungen über Vorausrechnungen und auch ganz erheblich über den Kontaminationen in großen LWR¹ liegt. Ein bedeutender Anteil dieser Kontamination ist an Graphitstaub gebunden und damit in Druckentlastungsstörfällen teilweise mobil, was in Sicherheitsbewertungen zukünftiger Re-

¹ LWR = Leichtwasser-Reaktoren (Anm. d. Red.)

aktoren zu berücksichtigen ist.“

3. Unzulässig hohe Coretemperaturen sind die Ursache für hohe Freisetzungen. „Dabei ergab sich, daß die Kontamination des AVR-Kühlkreislaufs nicht wie früher angenommen in erster Linie durch unzureichende Brennelementqualitäten verursacht wurde, sondern durch unzulässig hohe Coretemperaturen, welche die Freisetzungen erheblich beschleunigten. Die unzulässig hohen Coretemperaturen wurden erst 1 Jahr vor dem endgültigen AVR-Betriebsende entdeckt, da ein Kugelhaufencore bisher nicht instrumentierbar ist. Die maximalen Coretemperaturen im AVR sind zwar weiterhin unbekannt, aber sie lagen mehr als 200 K über berechneten Werten. (...) Gegenwärtig sind zuverlässige Vorausrechnungen von Coretemperaturen im Kugelhaufen nicht möglich.“

4. Der Dampferzeuger wurde während des Betriebes geschädigt. „Außerdem wurden azimuthale Temperaturdifferenzen am Corerand von bis zu 200 K gemessen, welche vermutlich auf eine Leistungsschiefelage zurückzuführen sind. Heißgasstrahlen mit Temperaturen >1100°C, welche den Dampferzeuger geschädigt haben könnten, wurden gelegentlich oberhalb des Cores gemessen.“

5. Der AVR-Betrieb war unsicher und unzuverlässig. Folglich sind diese negativen Sicherheitseigenschaften auch bei zukünftigen Generation IV-Reaktoren zu erwarten. „Einen sicheren und zuverlässigen AVR-Betrieb bei pro-

zesswärmetauglichen Gasaustrittstemperaturen, wie er als Basis der Kugelhaufen-VHTR-Entwicklung im Generation IV Projekt unterstellt wird, hat es daher nicht gegeben.“

6. HTR-Kugelbrennelemente können den Austritt von Radioaktivität nicht verhindern. Ein Mythos wird als Lüge entlarvt. „Die AVR-Kontaminationsprobleme hängen auch damit zusammen, daß intakte HTR-Brennelemente nicht als fast vollständige Barriere für metallische Spaltprodukte angesehen werden können, wie sie es für Edelgase sind. Metalle diffundieren im Brennstoffkern, in den Beschichtungen und im Graphit. Ein Durchbruch durch diese Barrieren findet im Langzeit-Normalbetrieb statt, wenn bestimmte, spaltproduktspezifische Temperaturgrenzen überschritten werden. Hier liegt eine ungelöste Schwachstelle von HTR vor, die es bei anderen Reaktoren nicht gibt.“

7. Es findet eine unkontrollierte (!) Verteilung radioaktiver Nuklide über den gesamten Kühlkreislauf statt. „Eine andere HTR-Schwachstelle, welche zu den AVR-Kontaminationen beigetragen hat, liegt darin begründet, daß sich die aus den Brennelementen freigesetzten Nuklide im HTR unkontrolliert über den gesamten Kühlkreislauf verteilen. Wegen der hohen Ablagerungsraten von chemisch reaktiven Spaltprodukten in HTR-Kühlkreisläufen kann nämlich die aus den Brennelementen freigesetzte Aktivität nicht über eine Reini-