

Biologie (z.B. experimentelle Embryologie/Histologie etc.), die auf die Wichtigkeit dieser Aspekte hinweisen. Eine allgemeine Fehlkonzeption bei der Bemühung, die Mechanismen der Strahlenwirkung zu verstehen, ist, dem Grad der zellulären Organisation der angewandten, experimentellen Modelle keine Bedeutung hinsichtlich der Strahlenreaktion beizumessen²⁰⁹. Die wenigen Bemühungen in dieser Richtung (siehe Bystander- bzw. Good-Samaritan-Effekte) weisen bereits auf die Bedeutung dieses neuen Forschungsansatzes hin.

Erkenntnisse über kombinierte Strahlenwirkungen beschränken sich auf die gesammelten Erfahrungen aus dem Bereich der Strahlentherapie. Diese Erfahrungen basieren auf der Anwendung bestimmter Substanzen, die entweder Strahlenschutz- oder strahlensensibilisierende Effekte hervorrufen, um dabei die Wirksamkeit der Strahlentherapie zu verbessern. Die Anwendung der Hyperthermie dient dem gleichen Zweck. Es besteht eine enorme Wissenslücke, wenn es sich um umweltorientierte Probleme der niedrigen Strahlenexposition handelt, insbesondere inkorporierter Radionuklide in Zusammenhang mit anderen, in der Umwelt vorkommenden, toxischen Agenzien. Diese sind nie in Abhängigkeit von der Empfindlichkeit einzelner Individuen untersucht worden aufgrund der technischen Schwierigkeiten derartiger Studien, die diese mit sich bringen. Bei der Verdoppelungsdosis kindlicher Leukämie kann aus guten Gründen erwartet werden, daß sie vor allem durch zuvor erwähnte Faktoren beeinflusst wird. Zusätzlich muß angenommen werden, daß das Zusammenwirken von Strahlung mit anderen Umwelttoxinen kanzerogene Ereignisse steigern kann. Bei Nichtvorhandensein von Daten spricht der gesunde Menschenverstand dafür, derartige Möglichkeiten in Betracht zu ziehen, anstatt sie kategorisch mit den Hinweis auf die defizitäre Datenlage zu leugnen. Die überraschende, extrem niedrige Verdoppelungsdosis, errechnet aus den RERF-Daten (siehe Anhang L, Beitrag von H. Kuni), unterstreicht diesen Punkt in beispielhafter Weise.

VI. Schlußfolgerung

Die Häufung kindlicher Leukämien kommt in der Umgebung von Kernkraftwerken oft und in der Umgebung von nuklearen Wiederaufbereitungsanlagen ohne Ausnahme vor. Sie unterscheidet sich in der Umgebung des KKK nur in ihrer Größe. Die entstandene Kontroverse – nicht nur hier (KKK) sondern auch überall dort, wo ein Cluster identifiziert wurde – ist aufgrund der Unvereinbarkeit vorherrschender Konzepte der Strahlenkanzerogenese mit den ermittelten Umgebungsstrahlenbelastungen, anhand klassischer Dosis-Wirkungsbeziehungen, zu erklären. Danach wird die erforderliche Dosis, um Leukämiefälle hervorzurufen, mehrere Größenordnungen

²⁰⁹Die reduktionistische Annäherung ist besonders ausgeprägt in der strahlenbiologischen Forschung aufgrund des Dominierens physikalisch-orientierter Wissenschaftler in diesem Fach. Während dieses zum wissenschaftlichen Fundament des Faches beigetragen hat, hat es gleichzeitig die holistische, biologische Annäherung an die Probleme der Kanzerogenese verhindert.

höher geschätzt, als die konventionell ermittelten Dosen an der Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vorweisen. Dieses veranlaßt die Aufsichtsbehörden wie auch Wissenschaftler in gleicher Weise, die Möglichkeit einer Assoziation zwischen dem Vorkommen von Leukämien und dem Betrieb von AKW zu leugnen. Diese Haltung ist sicherlich auch z.T. auf den guten Glauben an Grenzwerte zurückzuführen. Ein häufig vorkommendes Mißverständnis ist die Verwechslung von Grenzwerten mit einer "Sicherheitsgrenze". Tatsache ist, daß Grenzwerte aus Kompromissen entstehen. Daher sind sie nicht zuletzt ein Maß für die Höhe "zumutbarer" Risiken und damit ein Ergebnis politisch motivierter Überlegungen. Die nationalen Strahlenschutzstandards richten sich nach den Empfehlungen der ICRP. Die geltenden Grenzwerte in der BRD sind von Empfehlungen der ICRP abgeleitet worden, die zurückgehen auf Formulierungen aus dem Jahre 1958, einer Zeit, in der die Erkenntnisse über die Entstehung von stochastischen somatischen Effekten der Strahlenwirkung noch nicht begriffen wurden; die vordergründigste Sorge jener Zeit waren vererbare Schäden an die Nachkommen und künftige Generationen. In Anerkennung der Fakten aus den RERF-Daten hat die ICRP in ihren Empfehlungen von 1990 die Dosisgrenze für beruflich Exponierte ($2 \text{ cSv/a} = 20 \text{ mSv/a}$) und 1997 die Grenzwerte für die allgemeine Bevölkerung ($0,03 \text{ cSv/a} = 0,3 \text{ mSv/a}$) herunterkorrigiert. Diese Entwicklung sollte in der deutschen Strahlenschutzverordnung Berücksichtigung finden. Eine Novellierung der Strahlenschutzverordnung wurde zwar angekündigt, ist bis jetzt aber noch nicht verabschiedet.

Es ist ein Irrtum die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte schließe die Möglichkeit jeglicher Assoziation zwischen dem Vorkommen eines Leukämieclusters und dem Betrieb eines AKW (KKK) aus, weil umgekehrt dieses bedeuten würde, daß die Grenzwerte Schwellenwerte darstellen, unterhalb derer Sicherheit gewährleistet wäre. Für stochastische Effekte wurden keine Schwellenwerte festgestellt. Es wurde argumentiert, daß anhand der Emissionsdaten des KKK die errechnete Dosis an der Bevölkerung der Elbmarsch (wo der überwiegende Teil des Clusters identifiziert wurde) etwa drei Größenordnungen unterhalb des Expositionsgrenzwertes läge, und daß ein Zusammenhang damit unvorstellbar sei, und weiterhin, daß dieser aufgrund von etwaigen Fehlern bei der Berücksichtigung von Mikroklimaeffekten nicht nachzuweisen wäre. Die Argumentation als solche ist zumindest naiv, wenn nicht perfid, weil sie voraussetzt, daß die angewandten Methoden und Meßtechniken der Dosisermittlung einwandfrei sind. Das derzeit angewandte Gauß'sche Modell für die Ausbreitung der mit Luft abgeleiteten Radioaktivität ist, wie schon erörtert, nur unter bestimmten idealisierten Bedingungen gültig. In Situationen komplexer Orografie, insbesondere wenn Wasserkörper größeren Ausmaßes zusätzlich vorhanden sind, welche auf das Mikroklima Einfluß nehmen, ist obiges Modell unbrauchbar. Die Einführung von sechs vereinfachten Ausbreitungskategorien in der AVV, und schließlich das Zusammenwirken dieser beiden Fehlerquellen können zu Bestimmungsfehlern von drei Größenordnungen führen. Ferner wurden die Koeffizienten für die Berechnung von Kurzeitenausbreitungen aus gemittelten 5-Jahres-Langzeitausbreitungsdaten abgeleitet und sind daher nicht fehlerfrei. Die Dosisberechnungen beziehen sich auf eine meteorologische

Aufpunktstelle, die fiktiv ist, weil sie stets veränderlich ist. Damit ist das Argument, daß Fehler von drei Größenordnungen unvorstellbar seien, aus rein formalen Gründen widerlegt. Die Berechnungsmethoden für die Strahlenbelastung aus inkorporierten Radionukliden sind aufgrund der Vernachlässigung der nuklidspezifischen Biokinetik eine weitere Fehlerquelle, da allgemein angenommen wird, daß Radionuklide in einem Organ bzw. Gewebe gleichmäßig verteilt seien. Die Mehrzahl hoch radiotoxischer Nuklide weist Spezifitäten der Einbaustellen innerhalb von Organen und sogar innerhalb des Gewebes auf. Diese Unsicherheiten können zu Fehlbestimmungen der Strahlenbelastung auf Zielzellen von bis zu zwei Größenordnungen führen.

Die vom KTA propagierte Redundanz in der Umgebungsüberwachung der Radioaktivität wird nur zum Teil erfüllt, da die vorgeschriebene technische Ausstattung für die Immissionüberwachung prinzipiell auf die Messung von Gammastrahlen ausgerichtet ist. Luftgetragene schwache Beta- bzw. Alphastrahler werden nicht nuklidspezifisch erfaßt. Folglich verläßt sich das System gänzlich auf die Überwachung der Emissionen am Reaktorkamin. In Boden- und Bewuchsproben aus der Umgebung vom KKK sind Reaktornuklide wiederholt aufgetaucht. Somit wurde das KKK als Herkunftsquelle verdächtigt. Nach der AVV sollen derartige Nuklide unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

Es wird argumentiert, daß der diagnostizierte prädominante Leukämietyp (ALL) bei den betroffenen Kindern nicht typisch für eine strahleninduzierte Leukämie sei. Daher entbehre jegliche Verbindung der Leukämieerkrankungen mit dem Betrieb des AKW jeder Grundlage. Es gibt jedoch keinerlei Hinweise, die für onkogene Spezifitäten ionisierender Strahlungen sprechen. Tatsache ist, daß ionisierende Strahlungen grundsätzlich alle in der Natur vorkommenden Neoplasien hervorrufen können. Die provozierte Art der Neoplasie hängt von den biologischen Eigenschaften der jeweiligen Neoplasien ab. Dieses bedeutet schlechthin, daß Faktoren wie Alter zur Zeit der Exposition, Geschlecht und Latenzzeit entscheidend mitwirken. Das Vorhandensein eines konkurrierenden Agens (z.B. chemisches Karzinogen) könnte mit der Strahlung und anderen Faktoren interagieren, um das Endresultat zu modifizieren.

Die zwei Professoren der Medizinischen Onkologie Gaßmann und Löffler haben für ihre Beurteilung epidemiologische Kohortenstudien über die Entstehung sekundärer Krebse (Leukämie) nach Strahlentherapie herangezogen. Da die überwiegende Anzahl dieser Kohorten kombinierte Behandlungsmodalitäten erhielten, ist es nicht zulässig, diese Kohorten für eine Analyse der Auswirkung ionisierender Strahlung zu verwenden. Die Literatur bietet nur wenige Kohortenstudien über Krebsentstehung nach einer Strahlentherapie bei jüngeren Kindern. Diese Studien weisen darauf hin, daß, vollständig im Einklang mit den Befunden der RERF, ALL überwiegt. Gaßmann und Löffler argumentierten, basierend auf dem absoluten Risiko für AML, gegen ALL. Gerade dieses ist irreführend, da ALL eine äußerst seltene Erkrankung und typisch für die Frühkindheit ist. Das Risikoindiz für wissenschaftliche Zwecke darf deshalb niemals das Absolut- sondern muß das Relativrisiko sein, welches in den RERF-Befunden an höchster Stelle steht. Dies bedeutet nicht, daß das Risiko, ausgedrückt in absoluten Zahlen, bedeutungslos sei; es ist ein Wert, der für politische Überlegungen gebraucht wird.

Die Dosis-Wirkungsbeziehung ist ein konventionelles toxikologisches Prinzip, welches auch für die Strahlenwirkung gültig ist. Strahlenbiologische Erkenntnisse sind hauptsächlich aus der Wirkung hoher, akuter externer Expositionen gewachsen. Voraussagen über die Wirkungen niedriger Strahlendosen werden durch Rückextrapolationen erreicht und sind daher mit großen Unsicherheiten behaftet. Neuere Forschungsergebnisse weisen darauf hin, daß niedrige Strahlendosen (etwa über dem Hintergrundwert) höhere Effektivitäten, d.h. eine Umkehr der Dosis-Wirkungsbeziehung, verursachen können. Dieses Arbeitsfeld befindet sich jedoch noch im Anfangsstadium. Da die Verdoppelungsdosis eine Größe ist, die bei der Abschätzung stochastischer Effekte Anwendung findet, ist die Frage der Verdoppelungsdosis für kindliche Leukämien von Relevanz, um eine Bewertung der Dosisvoraussetzung für das Cluster in der Umgebung von KKK vorzunehmen. Es ist gebräuchlich, die RERF-Daten für derartige Berechnungen heranzuziehen. Dieses wurde von H. Kuni (Anhang L) durchgeführt, indem er eine Verdoppelungsdosis von 0,7 cSv (7 mSv) für CML bei männlichen Erwachsenen errechnete und annimmt, daß die Verdoppelungsdosis für männliche Kinder unter 0,1 cSv (1 mSv) liegt. Diese Werte sind sicherlich weitaus niedriger als die generelle Vorstellung einer Verdoppelungsdosis. Konkurrierende Faktoren bei den Atombombenopfern könnten evtl. eine Erklärung für die niedrigen Werte sein, und es sollte nicht außer acht gelassen werden, daß bei jeder umweltbedingten Verursachung von Erkrankungen eine Kombination von mehreren Faktoren erwartet werden muß. Nach Erfahrungen aus dem Bereich röntgendiagnostischer Expositionen während der Schwangerschaft schätzt A. Stewart 1 cSv (10 mSv) als eine vorsichtige Verdoppelungsdosis kindlicher Leukämien (Anhang I). Die Verdoppelungsdosis ist ein statistischer Mittelwert. Abweichungen davon müssen erwartet werden und werden von verschiedenen konkurrierenden, sowie inhärenten Faktoren abhängig sein. Beispielsweise kann die genetische Konstitution eines Individuums erhebliche Abweichungen verursachen. Eine Mehrzahl genetisch bedingter gesundheitlicher Störungen (sichtlich identifizierbar nur bei den Homozygoten), die eine starke Empfindlichkeit gegenüber Strahlungen verursachen, wurden in jüngster Zeit dokumentiert. Die natürliche Häufigkeit von Heterozygoten (und ihre Reaktionen auf Strahlungen und andere Toxika) in einer Bevölkerung ist nicht bekannt. Frühkindliche Leukämien werden wahrscheinlich in utero induziert. Da embryonale Zellen generell hoch empfindlich gegenüber Strahlungen und anderen Toxika sind, muß die Verdoppelungsdosis für Leukämie entsprechend als äußerst niedrig erwartet werden. Neuerdings sind überzeugende Hinweise für die präkonzeptionelle Induktion kindlicher Leukämien durch väterliche Strahlenexposition erhoben worden. Es liegen zur Zeit keine Abschätzungen über eine Verdoppelungsdosis dafür vor.

Wie schon erwähnt, sind Berechnungen der absorbierten Dosis in Organen bzw. Geweben nach Inkorporation von Radionukliden äußerst unzulänglich. Die Strahlentoxikologie alpha-emittierender Nuklide ist besonders kompliziert wegen der inhomogenen Dosisverteilung innerhalb der Gewebe aufgrund der geringen Reichweite der Alphateilchen. Da getroffene Zellen hohe Dosen erhalten, können sie ihr Replikationspotential verlieren und je nach Schadensstelle

zugrunde gehen. Da hämatopoetische Zellen ein großes Zellkern/Cytoplasma-Verhältnis vorweisen, würden Strahlentreffer überwiegend im Zellkernbereich liegen, und die Wahrscheinlichkeit des Zelltodes (evtl. über den apoptotischen Pfad) dürfte sehr hoch sein. Dieses könnte eine Erklärung sein für das generelle Ausbleiben von Leukämien unter Personen, die chronische Kontaminationen durch Alphastrahler am Arbeitsplatz erlitten haben. Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, daß wenn die Apoptose in einer getroffenen Zelle umgangen wird (Treffer im Zytoplasma), die klonogene Fähigkeit der Zelle erhalten bleibt und genotoxische Endpunkte (Mutationen und/oder chromosomale Aberrationen) dennoch zustandekommen. In der Umwelt können Kontaminationen von Personen mit Alphastrahlern nur zu extrem niedrigen Inkorporationen führen (die auf der Basis konventioneller Dosisberechnungen keine Beachtung finden), sie sind jedoch aus toxikologischer Sicht hoch relevant aufgrund der Möglichkeit zellulärer Transformation. Dies zusätzlich zu der Tatsache, daß völliges Unwissen über die Interaktion inkorporierter Radionuklide mit anderen Umweltnoxen jedes Argument unterstützt, daß die Verdoppelungsdosis für Leukämie sogar niedriger, als zur Zeit angenommen, liegen kann. Insgesamt betrachtet ist die Möglichkeit, daß die Häufung kindlicher Leukämien in der Elbmarsch strahlenbedingt sei, nicht auszuschließen. Der aktuelle Bericht des Gutachters Dipl. Ing. H.W. Gabriel der Fa. ARGE PhAM, Weinheim, in Zusammenarbeit mit den Professoren R. Brandt und W. Ensinger (Universität Marburg) und A. Scharmann (Universität Giessen) über die Verseuchung der Elbmarsch und Elbgeest im Umfeld der kerntechnischen Anlagen (KKK und GKSS-Forschungszentrum) mit transuran- und tritiumhaltigen radioaktiven Mikrokügelchen (PAC-Mikrosphären), verstärkt den Verdacht einer Strahlenätiologie dieses Leukämieclusters.