

Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken – KiKK-Studie

Abschließende Stellungnahme des Bundesamtes für Strahlenschutz (September 2009)

Die epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken, kurz KiKK-Studie genannt, wurde im Auftrag des BfS vom Deutschen Kinderkrebsregister in Mainz durchgeführt und im Dezember 2007 veröffentlicht. Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hat nach der Veröffentlichung die Strahlenschutzkommission mit einer Bewertung der Studie beauftragt. Die Strahlenschutzkommission hat im September 2008 hierzu eine Stellungnahme abgegeben. Eine Begründung ihrer Stellungnahme legte die Strahlenschutzkommission dann im Februar 2009 der Fachöffentlichkeit vor.

Das Bundesamt für Strahlenschutz stellt nach Prüfung der Stellungnahme der Strahlenschutzkommission unter Einbeziehung der Stellungnahme des studienbegleitenden, Expertengremiums und unter Würdigung der bisherigen Fachdiskussionen zur KiKK-Studie fest:

1. In der KiKK-Studie wurden die Fragestellungen untersucht,
 - ob Krebserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren in der Umgebung von Kernkraftwerken häufiger auftreten,
 - ob das Risiko mit der Nähe zum Standort des nächst gelegenen Kernkraftwerks zunimmt und
 - ob es gegebenenfalls Einflussfaktoren gibt, die ein gefundenes Ergebnis erklären könnten.
2. Fragestellung, Durchführung der Studie und Art der Auswertung waren vor Studienbeginn weitgehend zwischen BfS, dem Deutschen Kinderkrebsregister und dem studienbegleitenden Expertengremium vereinbart und festgelegt worden.
3. Die KiKK-Studie kommt zum Ergebnis, dass für den Zeitraum 1980-2003 in der Umgebung von 16 Standorten mit insgesamt 22 Kernkraftwerken in Deutschland Krebserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren häufiger auftreten. Der Risikoanstieg ist wesentlich bei Leukämien festzustellen.
4. Im Nahbereich von Kernkraftwerken wurde für alle Krebserkrankungen zusammen betrachtet ein Risikoanstieg um etwa 60 % und für Leukämien eine Verdoppelung des Erkrankungsrisikos, d.h. ein Risikoanstieg um etwa 100% beobachtet.
5. Dieses Risiko ist für alle Krebserkrankungen und für Leukämien im Besonderen statistisch signifikant erhöht. Da Krebserkrankungen bei Kindern relativ selten sind, ist der Risikoanstieg absolut betrachtet aber zahlenmäßig gering. So kommt es im 5-km-Umkreis um alle untersuchten Reaktorstandorte zu etwa einem zusätzlichen Erkrankungsfall pro Jahr. Vergleicht man hingegen die zu erwartenden Erkrankungszahlen mit den tatsächlich beobachteten, so sind im 5-km-Umkreis von 77 der beobachteten Erkrankungsfälle für Krebs insgesamt 29 der Nähe zum Kernkraftwerk zuzuordnen. Für Leukämien lauten die Zahlen: Von 37 beobachteten Erkrankungsfällen sind 20 auf die Nähe zum Kernkraftwerk zurückzuführen.
6. Die KiKK-Studie kommt weiterhin zu dem Ergebnis, dass je näher ein unter 5 Jahre altes Kind zum nächstgelegenen Kernkraftwerksstandort wohnt, desto

höher ist sein zusätzliches Risiko, an Krebs oder Leukämie zu erkranken. Diese Abstandsabhängigkeit des Erkrankungsrisikos wurde für Krebs insgesamt und für Leukämien gefunden. Für beide Erkrankungsgruppen ist die Abstandsabhängigkeit statistisch signifikant.

7. Die Studie wurde bestmöglich durchgeführt. Die Ergebnisse sind belastbar. Dies haben Prüfungen verschiedener Gruppen unabhängig voneinander bestätigt. Damit kann davon ausgegangen werden, dass die Tatsache, dass das Risiko an Krebs zu erkranken steigt, je näher ein Kind unter 5 Jahren an einem Kernkraftwerk wohnt, mit Vorlage der KiKK-Studie und Prüfung der Ergebnisse durch Fachleute für Deutschland erwiesen ist.
8. Die radioaktiven Abgaben der Leistungsreaktoren sind für den Fall, dass Strahlung durch Ableitung aus Kernkraftwerken allein als Verursacher in Frage kommt, um mindestens den Faktor 1.000 zu niedrig, um den Befund erklären zu können.
9. Es gibt auch keine anderen bekannten Risikofaktoren, die den Befund plausibel erklären könnten. In der KiKK-Studie wurde eine Vielzahl möglicher anderer Ursachen (z.B. soziale Schicht, Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln, Beschäftigung eines Elternteils im Kernkraftwerk, Röntgen des Kindes) betrachtet. Bei diesem Teil war die Teilnahmebereitschaft an der Studie nah um die Kernkraftwerke verringert, so dass er nur vorsichtig bewertet werden kann. Dieser Teil gibt aber keinen Hinweis darauf, dass einer der anderen untersuchten Faktoren das Ergebnis der KiKK-Studie wesentlich beeinflusst hätte.
10. Das BfS sieht dringenden Handlungsbedarf zur weiteren Erforschung der Ursachen von Leukämien im Kindesalter, um einer Erklärung des Befundes der KiKK-Studie näher zu kommen.
11. Darüber hinaus ist es ständige Aufgabe, das Wissen über Strahlenwirkungen und Strahlenrisiko zu hinterfragen, zu verbessern und neue Erkenntnisse in rechtliche Regelungen umzusetzen.
12. Bisher kann das Bundesamt für Strahlenschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken wohnenden Eltern nicht empfehlen, aus deren Umgebung wegzuziehen. Dafür fehlen wissenschaftliche Beweise dafür, dass die Ableitungen aus einem Reaktor die alleinige Ursache für die Erkrankungen sind.
13. Wegen der fehlenden nachvollziehbaren Erklärungen und der nicht nachgewiesenen Verursachung durch einen auslösenden Faktor fehlt derzeit auch eine belastbare wissenschaftliche Grundlage, die Grenzwerte zu senken.

Die Begründung der Stellungnahme findet sich im Folgenden:

Hintergrund der KiKK-Studie

Seit Beginn der Nutzung der Kernenergie gibt es Diskussionen um deren negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung, die in der Umgebung solcher Anlagen lebt. So gab es in den USA Ende der 1960er Jahre eine Diskussion um möglicherweise erhöhte Raten an Säuglingssterblichkeit. Im Jahre 1984 wurde dann über eine erhöhte Zahl an Leukämiefällen bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen aus der Umgebung der britischen Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield berichtet. Es schlossen sich Studien an, die alle größeren kerntechnischen

Anlagen in England und Wales umfassten. Hier wurde über ein statistisch signifikant gehäuftes Auftreten von Leukämien bei Kindern und Jugendlichen im 10-Meilen-Umkreis um kerntechnische Anlagen berichtet (1). 1992 wurde eine mit den britischen Arbeiten methodisch vergleichbare Studie („KKW-Studie I“) in Deutschland durch das Deutschen Kinderkrebsregister (DKKR) für den Zeitraum 1980 bis 1990 durchgeführt (2). Diese zeigte für Kinder unter 5 Jahren in der 5-km-Zone eine statistisch signifikant erhöhte Erkrankungsrate für Leukämien. Da diese Ergebnisse sehr kontrovers diskutiert wurden und zeitgleich eine statistisch signifikante Häufung von Leukämien in der Umgebung des Kernkraftwerks Krümmel auftrat, wurde 1997 eine zweite Studie veröffentlicht („KKW-Studie II“), die Daten aus dem an die erste Studie anschließenden Zeitraum von 1991 bis 1995 sowie unter Einschluss der Daten aus der ersten Studie den Zeitraum von 1980 bis 1995 betrachtete (3). Der Befund der ersten Studie für unter 5-jährige Kinder zeigte sich hier erneut, gleichwohl war er nicht mehr statistisch signifikant. Allerdings bezog die zweite Studie zusätzlich kerntechnische Anlagen niedrigerer Leistung sowie kürzerer Betriebsdauer mit ein, die in der ersten Studie nicht betrachtet worden waren.

Die bisher erwähnten Studien sind sog. ökologische Studien, in denen die Erkrankungshäufigkeit in bestimmten Regionen mit der in anderen Regionen verglichen wird, etwa die im 5-km-Umkreis um einen Reaktor mit der Häufigkeit in einer Vergleichsregion ohne Reaktor. Solche Studien können keine Aussagen machen zu Faktoren, die den Ergebnissen zugrunde liegen. Mehr noch, sie unterliegen alle der Gefahr eines sog. ökologischen Trugschlusses, denn die verglichenen Regionen wurden auf der Basis gemittelter Daten aufgrund vieler vergleichbarer Eigenschaften außer dem Vorhandensein eines Kernreaktors ausgewählt. Ob diese Eigenschaften aber auch für jede erkrankte Person in den Regionen individuell zutreffen, ist nicht bekannt. Damit können wesentliche, ein Krankheitsrisiko bestimmende Faktoren durch die ausschließliche Betrachtung gemittelter Daten überdeckt werden und damit aus dieser Art Studien möglicherweise falsche Schlüsse gezogen werden. Vergleiche von Erkrankungsraten unterschiedlicher Regionen können daher zwar erste Hinweise auf Zusammenhänge liefern, die dann aber in methodisch anspruchsvolleren Studien zu überprüfen sind.

Auf Grund der anhaltenden Diskussion und unter Berücksichtigung der Probleme bei der Interpretation der Ergebnisse ökologischer Studien fand 2001 auf Einladung des BfS ein "runder Tisch" mit verschiedenen Gruppen statt. Danach beschloss das BfS, eine methodisch anspruchsvollere Studie – eine sog. Fall-Kontroll-Studie, bei der Informationen über die einzelnen in der Studie untersuchten Personen berücksichtigt werden – in Auftrag zu geben, um zu belastbareren Ergebnissen zu kommen. Diese sog. KiKK-Studie (Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken) begann 2003. Fragestellung und Art der Studie wurde von einem interdisziplinär zusammengesetzten 12köpfigen Expertengremium vorgeschlagen. Das BfS hat diesen Vorschlag aufgegriffen und mit der Durchführung der Studie nach einer Ausschreibung das Deutsche Kinderkrebsregister in Mainz beauftragt. Der wesentliche Fortschritt bei der Untersuchung der Frage, ob Kinder in der Nähe von Kernkraftwerken ein erhöhtes Krebsrisiko tragen, ist somit die Tatsache, dass hier das erste Mal nicht Erkrankungshäufigkeiten in unterschiedlichen Regionen miteinander verglichen wurden, sondern erkrankte Kinder und nach dem Zufallsprinzip nach Alter und Geschlecht zugeordnete Kontrollkinder in derselben Region auf individueller Basis miteinander verglichen wurden und somit exakte

Angaben zur Entfernung des Wohnortes von einem Reaktor berücksichtigt werden konnten.

Fragestellung der Studie

Die Studie hatte drei Fragestellungen:

- Treten Krebserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren in der Umgebung von Kernkraftwerken häufiger auf?
- Nimmt das Risiko mit der Nähe zum Standort von Kernkraftwerken zu (sog. negativer Abstandstrend)?
- Gibt es gegebenenfalls Einflussfaktoren, die das gefundene Ergebnis erklären können?

Zur Beantwortung der Fragen untergliederte sich die Studie in zwei Teile:

- Teil 1: Durchführung einer Fall-Kontroll-Studie ohne Befragung.
- Teil 2: für eine Untergruppe von Teil 1 Durchführung einer Fall-Kontroll-Studie mit Befragung, um mögliche Störfaktoren (Confounder) berücksichtigen zu können, die das in Teil 1 gefundene Ergebnis erklären können.

Die Fragestellung der Studie war so formuliert, dass nur Aussagen zu einem Zusammenhang zwischen dem Wohnen in der Nähe eines Reaktorstandortes und dem Erkrankungsrisiko gemacht werden können. Die Festlegung, den Abstand des Wohnortes und nicht die individuelle Strahlenexposition der Kinder als Maß zu betrachten, hat folgenden Hintergrund: Bei der Formulierung des Studiendesigns waren sich das BfS als Auftraggeber und das Expertengremium – dem zu diesem Zeitpunkt auch noch der spätere Auftragnehmer Deutsches Kinderkrebsregister angehörte – einig, dass für die über 6.000 Kinder an den entsprechenden Wohnorten weder Messergebnisse vorliegen, noch eine Abschätzung ihrer jeweiligen Strahlenbelastung durch Modellrechnungen sinnvoll möglich und praktisch kaum durchführbar ist. Strahlenbelastungen durch Kernkraftwerke im Normalbetrieb können grundsätzlich nur mit Hilfe von Expositionsmodellen abgeschätzt, aber nicht direkt gemessen werden. In diese Abschätzmodelle gehen zahlreiche Annahmen zu Aufenthaltszeiten, Ernährungsverhalten usw. ein, die zum großen Teil mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Dies gilt insbesondere für retrospektive Expositionsabschätzungen, die im Falle der KiKK-Studie bis zurück ins Jahr 1980, dem Beginn des Studienzeitraums, hätten erfolgen müssen. Als Ersatz für die somit praktisch kaum durchführbare individuelle Expositionsabschätzung für alle in die KiKK-Studie einbezogenen Fall- und Kontrollkinder wurde daher in Übereinstimmung mit dem United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) der Abstand zwischen der Wohnung des jeweiligen Kindes und dem nächstgelegenen Kernkraftwerksstandort zum Zeitpunkt der Erkrankung (Diagnosestellung) festgelegt.

Wie wurde die Studie durchgeführt?

Die Studienregion umfasst 41 Landkreise in der Umgebung der 16 Standorte der (west-) deutschen Kernkraftwerke mit insgesamt 22 Atomreaktoren, für die Daten aus dem Kinderkrebsregister vorliegen. Betrachtet wurde jeweils der Landkreis, in dem sich der Reaktor befindet, der zum Reaktor nächstgelegene Nachbarlandkreis und, wegen der in Deutschland allgemein vorherrschenden Westwinde, der nächste östlich gelegene Landkreis. Die KiKK-Studie erfasst den Zeitraum von 1980-2003, unterteilt in zwei Studienzeiträume: die ersten 11 Jahre des Betriebs eines

Leistungsreaktors und die restlichen Jahre. Dies wurde damit begründet, dass den beiden vorangegangenen Studien zufolge das gefundene Risiko im ersten Zeitraum höher war als im zweiten. Entsprechend wurde in der KiKK-Studie auch gefragt, ob sich ein gegebenenfalls zu findender Abstandstrend zwischen dem früheren und dem späteren Zeitraum unterscheidet.

Bei den vorangegangenen beiden ökologischen Studien wurden die Erkrankungshäufigkeiten in unterschiedlichen Regionen miteinander verglichen, nämlich im Umkreis bis 5-, bis 10- und bis 15 km-Abstand von einem Kernkraftwerksstandort mit der Häufigkeit von Erkrankungen in ausgewählten Vergleichsregionen in Deutschland. Durch den jetzt gewählten Fall-Kontroll-Ansatz konnten individuelle Wohnorte berücksichtigt werden, und zwar sowohl die der erkrankten Kinder als auch für die nach dem Zufallsprinzip über die Einwohnermeldeämter ermittelten Kinder, die nicht erkrankt waren.

Welche Ergebnisse wurden erzielt?

Ergebnisse der KiKK-Studie nach Auswertepfan

In der Studie wurden alle 1.592 dem Deutschen Kinderkrebsregister zwischen 1980 und 2003 gemeldeten Kinder mit diagnostizierten Krebserkrankungen betrachtet, die zum Diagnosezeitpunkt in den festgelegten Regionen um die 16 deutschen Kernkraftwerksstandorte wohnten und unter 5 Jahre alt waren (4). Für jeden Fall wurden nach dem Zufallsprinzip 3 Kontrollen ausgewählt, die das gleiche Alter und Geschlecht wie der jeweilige Fall hatten sowie in der gleichen Umgebungsregion wohnten. Auf diese Weise konnten 4.735 Kontrollen ermittelt werden. Die Wohnortnähe zum jeweiligen Kernkraftwerk konnte für alle 6.327 Kinder auf durchschnittlich 25 Meter genau bestimmt werden. Sodann konnte geprüft werden, ob die an Krebs erkrankten Kinder durchschnittlich näher am Kernkraftwerksstandort der Region wohnten als ihre jeweiligen Kontrollen.

Sowohl für alle Krebsneuerkrankungen als auch für Leukämien ergibt sich ein sog. negativer Abstandstrend, d.h. die Zahl der Neuerkrankungen steigt mit zunehmender Nähe zum Reaktorstandort an. Der Befund für alle Tumoren ist dabei wesentlich auf den Befund für Leukämien zurückzuführen. Für ZNS-Tumoren, die das zentrale Nervensystem betreffen, zeigte sich ein statistisch nicht signifikanter negativer Zusammenhang und für embryonale Tumoren wurde kein Zusammenhang festgestellt. Eine Auswertung nach Umkreisen zeigte, dass alle Tumor- und Leukämieerkrankungen zusammen betrachtet im Nahbereich sowohl innerhalb des 5-km-Umkreises als auch innerhalb des 10-km-Umkreises um Kernkraftwerksstandorte signifikant häufiger auftreten als in den jeweiligen Bereichen außerhalb. Für die Gruppe aller Leukämien zeigte sich ebenfalls ein Abstandstrend. Hier ist bei kategorieller Betrachtungsweise ebenfalls das Ergebnis innerhalb des 5-km- und innerhalb des 10-km-Umkreises statistisch signifikant.

Zur Überprüfung der Ergebnisse hinsichtlich aller Diagnosen wurden auch Auswertungen (Sensitivitätsanalysen) durchgeführt, in denen jeweils ein Reaktorstandort aus der Bewertung ausgeschlossen wurde. Auch in diesen Fällen wurde für die verbleibenden 15 Standorte das gleiche Ergebnis erzielt. Das bedeutet, dass die Ergebnisse keinem einzelnen Reaktorstandort zuzuordnen sind, sondern für alle 16 Kernkraftwerksstandorte insgesamt gelten. Die wiederholt geäußerte Vermutung, die durchschnittliche Häufung von Leukämie-Fällen in der Umgebung *aller* Kernkraftwerksstandorte sei allein oder überwiegend auf die erhöhte Häufigkeit

um den Standort Krümmel zurückzuführen (sog. „Krümmel“-Effekt) kann damit ausgeschlossen werden. Da die Bereitschaft der Gemeinden aus dem Nahbereich der Reaktoren, Adressdaten für mögliche Kontrollkinder zu liefern, geringer war als in weiter entfernten Regionen, wurden bei einer weiteren Überprüfung auch alle Fälle aus den Gemeinden aus der Analyse ausgeschlossen, die keine bzw. nicht alle Kontrollen geliefert hatten. Auch in diesem Fall bestätigte sich das Ergebnis, dass mit der Nähe zum Reaktorstandort die Zahl der Erkrankungen zunimmt, d.h. die mögliche Verzerrung durch dieses Problem ist gering. Im Vergleich der beiden Studienzeiträume zeigte sich, dass für die erste Teilperiode ein deutlicherer Abstandstrend zu beobachten war als für die zweite. Der Unterschied zwischen den Teilperioden war allerdings statistisch nicht signifikant.

Ergebnisse weitergehender Analysen der Originaldaten der KiKK-Studie

Im Dezember 2007 wurde die Strahlenschutzkommission (SSK) von Bundesumweltminister Gabriel beauftragt, die Ergebnisse der KiKK-Studie zu prüfen und zu bewerten. Die SSK beauftragte die britischen Epidemiologen Darby und Read, anhand der Originaldaten der KiKK-Studie deren Kernaussagen zu überprüfen. Sie bestätigten die oben genannten Ergebnisse der Auswertungen durch die Mainzer Studiengruppe. Ferner wurden von Darby und Read weitergehende explorative Analysen durchgeführt. Diese weitergehenden explorativen Analysen können Hinweise dazu geben, welche in den Daten vorhandenen Umstände zu den gefundenen Resultaten geführt haben könnten bzw. wie robust diese Aussagen sind. Entsprechend wurde geprüft, ob der beobachtete Risikoanstieg für Leukämien sich nur im 5-km-Umkreis zeigt oder ob er auch außerhalb beobachtet wird. Diese Prüfung kommt unter anderem zu dem Schluss, dass das erhöhte Risiko für akute Leukämien im 5-km-Umkreis um die Reaktorstandorte bestätigt werden kann, im 5- bis 10-km-Umkreis wurde hingegen nur eine leichte, statistisch nicht signifikante Erhöhung beobachtet. Wichtig ist weiterhin, dass Darby und Read feststellen, dass die gefundene Erhöhung des Risikos nicht durch die überwiegende ländliche Region der KKW-Standorte erklärt werden kann (5).

Die SSK bestätigt die vom BfS vertretenen Grundpositionen: „Die KiKK-Studie wurde nach den Grundsätzen der guten epidemiologischen Praxis durchgeführt. Die Autoren haben sich dabei streng an die Vorgaben des Auswertepans gehalten“ (6). Sie sind lediglich bei der Berechnung des attributiven Risikos über die Vorgaben des Auswertepans hinausgegangen. Es wurden von der SSK wie auch bei der Überprüfung durch Darby und Read keine Fehler bei der Durchführung entdeckt.

Die SSK kommt in ihrer Bewertung allerdings zum Schluss, dass der Risikoanstieg im Nahbereich der Kernkraftwerke nicht kausal mit der Radioaktivität im Zusammenhang steht, die von Kernkraftwerken emittiert wird. Sie begründet diese Bewertung mit der im Verhältnis zur Strahlenbelastung aus natürlichen Quellen nur geringfügigen Strahlenexpositionen durch Ableitungen aus Kernkraftwerken. Da es sich bei der KiKK-Studie um eine Fall-Kontroll-Studie handelt, ist nach Auffassung des BfS in der Bewertung der Ergebnisse von primärem Interesse, in welchen Faktoren und möglichen Störgrößen sich Fälle von den Kontrollen unterscheiden. Der Vergleich der Strahlenbelastung aus natürlichen Quellen mit der Höhe der Belastung aus Ableitungen lässt diese besondere Fragestellung einer Fall-Kontroll-Studie unbeantwortet.

Das Deutsche Kinderkrebsregister veröffentlichte im Oktober 2008 Ergebnisse von Analysen, die über die im Auswertepan zur KiKK-Studie festgelegten hinaus gehen.

Dabei zeigt sich wie bei der Analyse von Darby und Read im 5-km-Umkreis ein mehr als verdoppeltes Risiko. In anderen Abstandregionen (5-10, 10-30 und 30-50 km) wurde kein erhöhtes Risiko beobachtet.

In Anlehnung an früher durchgeführte ökologische Studien wurde ferner die Erkrankungsrate in der Umgebung der Reaktoren ins Verhältnis gesetzt zur Erkrankungsrate im Bundesdurchschnitt. Dabei zeigte sich, dass die Erkrankungshäufigkeit im 5-km-Umkreis um 40 % über der im Rest des Landes liegt. Für alle anderen genannten Abstandskategorien liegen die Erkrankungsraten nahe bei denen des Landesdurchschnitts (7).

Einschätzung der Ergebnisse des Abschlussberichts der KiKK-Studie durch drei Epidemiologen des Expertengremiums

Drei Epidemiologen des Expertengremiums unterzogen im März 2008 den Abschlussbericht zur KiKK-Studie und weitere verfügbare Unterlagen einer Qualitätsprüfung. Sie kamen zum Schluss, dass die Studie nach dem bestmöglichen Design durchgeführt wurde. Ferner weisen sie darauf hin, dass bei Anwendung der Kausalitätskriterien der Epidemiologie eine Verursachung des beobachteten Effekts durch radioaktive Abgaben der Reaktoren nicht ausgeschlossen werden kann. Diese Kausalitätskriterien definieren, unter welchen Bedingungen eine epidemiologische Studie nicht nur Aussagen über Risikoerhöhungen erlaubt, sondern auch über die möglichen Ursachen dafür.

Die drei Epidemiologen machen folgende Vorschläge für weitergehende Untersuchungen:

1. Es erscheint sinnvoll, der Frage nachzugehen, ob einzelne Kernkraftwerke in besonderer Weise zur insgesamt beobachteten Risikoerhöhung beitragen und welche zeitlichen Muster zu beobachten sind.
2. Es erscheint sinnvoll und notwendig, verschiedene Szenarien zu erstellen, um zu bewerten, welchen Beitrag Strahlung an der beobachteten Risikoerhöhung – eventuell gemeinsam mit anderen Ursachen – haben kann.
3. Neben der genaueren Untersuchung der Strahlenbelastung scheint es auch angeraten, die bisher verwendeten Annahmen über Strahlenwirkung zu überprüfen.

Weitere Studien vom Design der KiKK-Studie halten sie in Deutschland nicht für sinnvoll, da alle verfügbaren Daten in der KiKK-Studie genutzt wurden und man etwa weitere 25 Jahre warten müsse, um eine solche Studie in gleicher Qualität und in gleichem Umfang noch einmal durchführen zu können.

Aktivitäten des BfS nach Abschluss der KiKK-Studie

Im Mai 2008 führte das BfS zusammen mit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) in Berlin einen internationalen Workshop zu den Ursachen von Leukämien im Kindesalter durch. Es wurde alle in der wissenschaftlichen Literatur diskutierten Ursachen für Leukämien vorgestellt. Diese umfassten u. a. Umweltfaktoren wie ionisierende Strahlung, nicht-ionisierende Strahlung und den Einsatz von Chemikalien in der Landwirtschaft, eine mögliche Virusgenese sowie genetische Faktoren. Der Workshop bot eine gute Grundlage für die Entwicklung weiterer Forschungsfragen und -ansätze. Der Tagungsband ist in der Zeitschrift *Radiation Protection Dosimetry* erschienen (Vol. 132, No.2, 2008). Der Workshop hat einmal

mehr deutlich gemacht, dass es sich bei der Entstehung von Leukämien um ein multifaktorielles Geschehen handelt, das in seiner Komplexität noch nicht verstanden wird. Es gilt, durch gezielte zukünftige Forschung die Ursachen der Erkrankung aufzuklären, die trotz der verschiedenen Anstrengungen in unterschiedlichen Bereichen der Wissenschaft noch weitgehend unverstanden sind. Dazu bedarf es eines umfassenden, koordinierten Forschungsprogramms, das alle Aspekte der Krankheitsentstehung einschließt. Ein solches Programm muss auf möglichst breiter fachlicher Basis aufgebaut werden und langjährig angelegt sein.

Zur Beantwortung der Frage, ob Emissionen aus Kernkraftwerken im Normalbetrieb die beobachteten Fallzahlen kindlicher Leukämien erklären können, hat das BfS die bestehenden Überwachungsprogramme und Regelwerke zur Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von Kernkraftwerken erneut überprüft. In Deutschland werden die Ableitungen von radioaktiven Stoffen aus kerntechnischen Anlagen über die Pfade „Ableitung Luft“ über den Kamin und „Ableitung Wasser“ über den Vorfluter von den Betreibern im Rahmen der Eigenüberwachung und entsprechend der gesetzlichen Regelwerke nach Art und Aktivität spezifiziert und bilanziert. Darüber hinaus hat der Genehmigungsinhaber auch Messungen in der Umgebung seiner kerntechnischen Anlage (Immissionsüberwachung) durchzuführen.

Die Ergebnisse der Emissions- und Immissionsmessungen werden von den Betreibern in Quartals- und Jahresberichten zusammengestellt, von der zuständigen Aufsichtsbehörde fachlich geprüft, bei den Leitstellen „Abluft“ und „Abwasser“ des BfS auf Plausibilität geprüft.

Zusätzlich zu den Messungen der Betreiber wird die Aktivitätskonzentration von radioaktiven Stoffen in der Kaminfortluft durch Messeinrichtungen der Kernanlagenfernüberwachung (KFÜ) der Aufsichtsbehörden der jeweiligen Bundesländer kontinuierlich überwacht und dokumentiert. Bestandteil dieser KFÜ-Systeme sind darüber hinaus kontinuierlich arbeitende Messeinrichtungen zur Immissionsmessung in der unmittelbaren Umgebung kerntechnischer Anlagen. Aus den im Rahmen der Emissionsüberwachung „Fortluft“ ermittelten Aktivitätsableitungen aller Kernkraftwerke in Deutschland ergibt sich unter konservativen, d. h. die Exposition überschätzenden Annahmen, eine Strahlenbelastung von weniger als 10 $\mu\text{Sv/a}$ für Kleinkinder. Dies wird jeweils in den Jahresberichten Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung dargestellt. Strahlenbelastungen in dieser Höhe sind um etwa den Faktor 1.000 zu niedrig, um das beobachtete erhöhte Krebs- bzw. Leukämierisiko bei Kindern erklären zu können für den Fall, dass Strahlung durch Ableitungen aus Kernkraftwerken allein als Verursacher in Frage kommt.

Bewertung der Befunde durch das Bundesamt für Strahlenschutz

Um die im 5-km-Umkreis der Kernkraftwerke beobachtete Verdoppelung des Leukämieerkrankungsrisiko für Kinder unter 5 Jahren erklären zu können, wäre auf der Basis des gegenwärtigen strahlenbiologischen und -epidemiologischen Wissens eine Strahlenbelastung in Höhe von etwa 10 mSv notwendig, d. h. eine Dosis, die um den Faktor 1.000 über den Abschätzungen liegen, die sich aus der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) ergeben. Dies gilt allerdings für den Fall, dass Strahlung durch die Ableitungen der Kernkraftwerke alleine als Verursacher in Frage kommt. In der bisherigen Diskussion der Ergebnisse der KiKK-Studie wurde eine Vielzahl möglicher Ursachen geprüft. Keiner der anderen genannten Faktoren weist eine

plausible Abhängigkeit mit dem Abstand zum nächstgelegenen Kernkraftwerk auf. Kindliche Krebserkrankungen und Leukämie stellen sich in ihrer Entstehung als multifaktorielle Krankheitsgeschehen dar. Ein allein oder überwiegend verantwortlicher Faktor, d. h. auch die Strahlenbelastung durch Ableitungen aus den Kernkraftwerken, kann nicht erkannt werden. Das heißt umgekehrt, dass bislang kein möglicher Risikofaktor explizit ausgeschlossen werden kann, insbesondere der einzige nicht, für den eine Abstandsabhängigkeit entsprechend der Studienergebnisse möglich erscheint.

Das Bundesamt für Strahlenschutz stellt fest, dass es derzeit keine befriedigenden Antworten auf die Fragen gibt, die sich aus den Befunden der KiKK-Studie ergeben. Auf Grund der deutlichen Abhängigkeit des Risikos von der Entfernung zu den Standorten der Kernkraftwerke liefert die Studie Hinweise auf mögliche Ursachen, aber keine Beweise.

Bisher kann das Bundesamt für Strahlenschutz dort wohnenden Eltern nicht empfehlen, aus der Umgebung von Kernkraftwerken wegzuziehen. Dafür fehlen wissenschaftliche Beweise dafür, dass die Ableitungen aus einem Reaktor die alleinige Ursache für die Erkrankungen sind. Wegen der fehlenden nachvollziehbaren Erklärungen und der nicht nachgewiesenen Verursachung durch einen auslösenden Faktor fehlt derzeit auch eine belastbare wissenschaftliche Grundlage, die Grenzwerte zu senken.

Das Bundesamt für Strahlenschutz stellt fest, dass die Ergebnisse der weltweit methodisch aufwendigsten Studie Anlass geben, weiter der Frage nachzugehen, welche Ursachen kindliche Leukämieerkrankungen haben. Besonders wichtig dabei ist es, das Zusammenwirken verschiedener Faktoren, aus der Genetik oder aus der Umwelt, zu berücksichtigen. Das Entstehen von Leukämie wird heute nur sehr unzureichend verstanden. Möglicherweise sind es mehrere Faktoren, die gemeinsam zu einem erhöhten Krebsrisiko führen. Dies zu verstehen stellt eine wissenschaftliche Herausforderung dar. Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich dafür ein, dass hierzu sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene koordinierte Schritte ergriffen werden.

Darüber hinaus ist es ständige Aufgabe, das Wissen über Strahlenwirkungen und Strahlenrisiko zu hinterfragen, zu verbessern und neue Erkenntnisse in rechtliche Regelungen umzusetzen. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat dazu u.a. mit seinen Grundsätzen zur Weiterentwicklung des Strahlenschutzes seine Vorstellungen vorgelegt.

Literatur

1. P. Cook-Mozaffari, Cancer near nuclear installations. *Lancet* **1**, 855-856. (1987).
2. B. Keller, G. Haaf, P. Kaatsch and J. Michaelis, Untersuchung der Häufigkeit von Krebserkrankungen im Kindesalter in der Umgebung westdeutscher kerntechnischer Anlagen. BMU, Bonn, 1992.
3. U. Kaletsch, R. Meinert, A. Miesner, M. Hoisl, P. Kaatsch and J. Michaelis, Epidemiologische Studien zum Auftreten von Leukämieerkrankungen bei Kindern in Deutschland. BMU, Bonn, 1997.

4. P. Kaatsch, C. Spix, S. Schmiedel, R. Schulze-Rath, A. Mergenthaler and M. Blettner, Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie). In *Umweltforschungsplan des Bundesumweltministeriums (UFOPLAN) Reaktorsicherheit und Strahlenschutz* (BfS, Hrsg.). Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2007. (http://www.bfs.de/de/bfs/druck/Ufoplan/4334_KiKK.html)
 5. SSK, Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie). Wissenschaftliche Begründung zur Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. In *Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK)* (BMU, Hrsg.), Berlin, 2009. (<http://www.ssk.de/werke/volltext/2008/ssk0815.pdf>)
 6. SSK, Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie). Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. In *Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK)* (BMU, Hrsg.), Berlin, 2008. (<http://www.ssk.de/pub/kurzinfo/h57.htm>)
- P. Kaatsch, C. Spix, I. Jung and M. Blettner, Leukämien bei unter 5-jährigen Kindern in der Umgebung deutscher Kernkraftwerke. *Dtsch Arztebl* **105**, 725-732 (20