

Berichte der
Strahlenschutzkommission (SSK)
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Heft 57 (2008)

Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie)

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission



H. HOFFMANN GmbH – FACHVERLAG, Berlin

Herausgegeben im Auftrag des
Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
von der Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission beim
Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Redaktion: Marina Grunst, Daniela Baldauf und Sabine Reinöhl-Kompa
Bonn, September 2008

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-87344-147-7
ISSN 0948-308X

© Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit · 2008

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Satz und Layout: Lieselotte Aghai, Bundesamt für Strahlenschutz, Bonn
Druck: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
Vertrieb: H. Hoffmann GmbH, Berlin. Tel.: 033203 / 30 58 10
Printed in Germany

Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie)

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des
Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Heft 57 (2008)

Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie)

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission



H. HOFFMANN GmbH – FACHVERLAG, Berlin

Vorwort

Die am 10. Dezember 2007 der Öffentlichkeit vorgestellte „Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie)“ stellte fest, dass ein statistischer Zusammenhang besteht zwischen der Nähe der Wohnung zum nächstgelegenen Kernkraftwerk zum Zeitpunkt der Diagnose und dem Risiko, vor dem 5. Geburtstag an Krebs (bzw. Leukämie) zu erkranken. Da dieses Ergebnis verständlicherweise eine erhebliche Besorgnis in der Bevölkerung auslöste, beauftragte der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit die Strahlenschutzkommission (SSK), diese Studie zu bewerten und vor allem die Frage zu beantworten, ob die von den Kernkraftwerken ausgehende Strahlung für das in der KiKK-Studie beobachtete Ergebnis verantwortlich sein kann.

Zur Vorbereitung der Beantwortung der im Beratungsauftrag aufgeführten Fragen setzte die SSK eine interdisziplinär und international besetzte Arbeitsgruppe ein.

Dieser Arbeitsgruppe gehörten folgende Mitglieder an:

- Prof. Dr. Sarah Darby, Universität Oxford, Epidemiologin (korrespondierendes Mitglied; führte eine unabhängige Überprüfung der Daten durch)
- Dr. Peter Jacob, Helmholtz-Zentrum München, Risikoanalytiker
- Prof. Dr. Rolf Michel, Universität Hannover, Radioökologe, Vorsitzender der SSK
- Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller, Universität Essen, Strahlenbiologe, Vorsitzender der Arbeitsgruppe
- Dr. Martin Rössli, Universität Bern, Epidemiologe
- Prof. Dr. Brigitte Stöver, Charité Berlin, Kinderradiologin
- Dr. Margot Tirmarche, IRSN (Institut für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit) Paris, Epidemiologin
- Prof. Dr. Dr. Heinz-Erich Wichmann, Helmholtz-Zentrum München, Epidemiologe.

Um sicherzustellen, dass für die Bewertung der KiKK-Studie nur wissenschaftliche Aspekte eine Rolle spielten und keine, wie auch immer geartete politische Einflussnahme erfolgte, nahmen an den Arbeitsgruppen- und SSK-Sitzungen nur die Mitglieder der Arbeitsgruppe bzw. der SSK teil. Allerdings lud die Arbeitsgruppe zu einigen ihrer Sitzungen Gäste ein, um sich ein möglichst umfassendes Bild zu verschaffen:

23. Januar 2008, Bonn:	Die Autoren der KiKK-Studie
17. April 2008, Berlin:	Prof. Dr. Michael Atkinson/Dr. Michael Rosemann (molekulare Aspekte)
17. April 2008, Berlin:	Die Expertengruppe, die die Vorgaben der KiKK-Studie festlegte und sie begleitete
08. Mai 2008, Berlin:	Prof. Dr. Sarah Darby, Dr. Colin Muirhead, Simon Read (Erfahrungen in Großbritannien)
15. Mai 2008, München:	Das Bundesamt für Strahlenschutz
29. Juli 2008, Bonn:	Prof. Dr. Sarah Darby und Simon Read (per Videokonferenz).

Die SSK befasste sich bisher auf ihren Sitzungen an folgenden Terminen mit der KiKK-Studie:

13. Mai, 3. Juli, 5. August, 4. und 25. September 2008.

Da der Bundesumweltminister möglichst bald eine Antwort auf die im Beratungsauftrag gestellten Fragen erwartete, war von Anfang an klar, dass der Zeitdruck für die SSK enorm hoch sein würde. Im Laufe der Beratungen stellte sich heraus, dass es nicht möglich sein würde, sowohl die Stellungnahme der SSK als auch den dazu gehörenden wissenschaftlichen Anhang bis zum ursprünglich vorgegebenen Termin (Ende September 2008) fertig zu stellen. Daher wurde wegen des hohen redaktionellen Aufwands für den wissenschaftlichen Anhang in Absprache mit dem Bundesumweltministerium entschieden, dass dieser mit allen Details und allen Literaturziten erst später veröffentlicht wird. Im Anhang wird dann auch ausführlich Stellung genommen zu den zahlreichen Kommentaren, die von außerhalb der SSK zur KiKK-Studie gemacht worden sind. Die KiKK-Studie wird dementsprechend die SSK auf weiteren Sitzungen beschäftigen.

Wer die Diskussionen im Zusammenhang mit der KiKK-Studie verfolgt hat, wird sich nicht wundern, dass auch die SSK keine Antwort hat auf die Frage nach der Ursache für das in der KiKK-Studie berichtete Ergebnis. Auf der Basis des derzeit vorliegenden Wissens ist die SSK aber der Ansicht, dass bestimmte Ursachen ausgeschlossen werden können, und sie macht Vorschläge, was in der Zukunft unternommen werden sollte, um hier Klarheit zu schaffen.

Prof. Dr. R. Michel

Vorsitzender der
Strahlenschutzkommission

Prof. Dr. W.-U. Müller

Vorsitzender der Arbeitsgruppe

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Die KiKK-Studie	2
2.1	Hintergrund	2
2.2	Design der KiKK-Studie	3
2.3	Durchführung der KiKK-Studie	3
2.4	Ergebnisse der KiKK-Studie	5
2.5	Zusätzliche Publikation im Deutschen Ärzteblatt 2008	7
3	Gegenwärtiger Kenntnisstand	9
3.1	Biologische und epidemiologische Erkenntnisse zur Leukämie-Entstehung im Kindesalter	9
3.2	Auftreten von Leukämien im Kindesalter in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	10
3.3	Strahlenexposition	12
3.3.1	Die natürliche Strahlenexposition	13
3.3.2	Die medizinische Strahlenexposition	13
3.3.3	Die Strahlenexposition durch Kernwaffenversuche	13
3.3.4	Die Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl	14
3.3.5	Die zivilisatorische Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen	14
3.3.6	Die Strahlenexposition durch sonstige und diffuse anthropogene Strahlenquellen	15
3.3.7	Die berufliche Strahlenexposition	15
3.4	Quantitative Abschätzung von Leukämie- und Krebsrisiken (alle Krebsarten) im Kindesalter nach Strahlenexposition mit niedriger Dosis	16
4	Unabhängige Neuauswertung der Daten der KiKK-Studie	17
5	Bewertung der KiKK-Studie	19
5.1	Bewertung des Designs der KiKK-Studie	19
5.1.1	Expositionserfassung und radioökologische Aspekte	19
5.1.2	Auswahl der Studiengebiete	21
5.1.3	Wohnort zum Zeitpunkt der Diagnose	21
5.1.4	Wohnorte und Aufenthaltsorte	22
5.1.5	Alternative Standorte	22
5.2	Bewertung der Durchführung der KiKK-Studie	22
5.2.1	Untersuchung von Confoundern	22
5.2.2	Probleme bei der Rekrutierung der Kontrollen	23
5.2.3	Bevölkerungsfluktuation	24
5.2.4	Berücksichtigung der gesamten Strahlenexpositionen	24
5.3	Bewertung der Ergebnisse der KiKK-Studie	24

5.4	Bewertung der Interpretationen der KiKK-Studie.....	25
5.4.1	Bewertung im Hinblick auf die Exposition	25
5.4.2	Unabhängigkeit der statistischen Analysen	26
5.4.3	Statistisches Testverfahren	27
5.4.4	Problematik der stetigen Auswertung und der Verwendung des Attributivrisikos...	27
6	Der Beratungsauftrag.....	28

1 Zusammenfassung

Am 10. Dezember 2007 wurde die „Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie)“¹ der Öffentlichkeit vorgestellt. Das Hauptergebnis der Studie fassten die Autoren folgendermaßen zusammen: *„Unsere Studie hat bestätigt, dass in Deutschland ein Zusammenhang zwischen der Nähe der Wohnung zum nächstgelegenen Kernkraftwerk zum Zeitpunkt der Diagnose und dem Risiko, vor dem 5. Geburtstag an Krebs (bzw. Leukämie) zu erkranken, beobachtet wird. Diese Studie kann keine Aussage darüber machen, durch welche biologischen Risikofaktoren diese Beziehung zu erklären ist.“*

Die Beratungsergebnisse der Strahlenschutzkommission (SSK) können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die neuen Daten der KiKK-Studie bestätigen die Ergebnisse früherer explorativer Studien eines erhöhten relativen Risikos für Leukämie von Kindern unter 5 Jahren im 5 km-Radius deutscher Kernkraftwerke relativ zum äußeren Bereich des jeweiligen Studiengebietes. In anderen Ländern durchgeführte Studien führten allerdings zu widersprüchlichen Ergebnissen. Es lässt sich damit nicht abschließend bewerten, ob es eine Evidenz für eine erhöhte Rate von Leukämie generell in der Umgebung von Kernkraftwerken gibt.
- Das Design der KiKK-Studie weist hinsichtlich Expositionsbestimmung und Erhebung von Einflussfaktoren zahlreiche methodische Schwächen auf, so dass es vernünftiger gewesen wäre, die Studie in dieser Weise nicht durchzuführen. Trotz dieser Schwächen ist das Design geeignet, eine Abstandsabhängigkeit zu analysieren.
- Die Evidenz für eine Erhöhung der Krebsrate bei Kindern beschränkt sich auf Gebiete, die maximal 5 km von den Kernkraftwerksstandorten entfernt sind. Es ist daher nicht gerechtfertigt, mit Hilfe attributiver Risiken hypothetische zusätzliche Erkrankungsfälle für größere Abstände zu berechnen.
- Die Studie ist nicht geeignet, einen Zusammenhang mit der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke herzustellen. Alle von der SSK geprüften radioökologischen und risikobezogenen Sachverhalte zeigen, dass durch die Kernkraftwerke bewirkte Expositionen mit ionisierender Strahlung das in der KiKK-Studie beobachtete Ergebnis nicht erklären können. Die durch die Kernkraftwerke verursachte zusätzliche Strahlenexposition ist um deutlich mehr als einen Faktor 1 000 geringer als Strahlenexpositionen, die die in der KiKK-Studie berichteten Risiken bewirken könnten.
- Die natürlichen Strahlenexpositionen im Untersuchungsgebiet und auch ihre Schwankungen sind um mehrere Zehnerpotenzen höher als die durch die Kernkraftwerke verursachten zusätzlichen Strahlenexpositionen. Wenn man unterstellt, dass die geringen, durch die Kernkraftwerke verursachten Strahlenexpositionen für das erhöhte Risiko für Leukämien im Kindesalter verantwortlich sind, müssten nach dem heutigen Kenntnisstand rein rechnerisch aufgrund der natürlichen Strahlenexpositionen

¹ Kaatsch, P.; Spix, C.; Schmiedel, S.; Schulze-Rath, R.; Mergenthaler, A.; Blettner, M.: Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken.

Zusätzlich wurden Ergebnisse der KiKK-Studie in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert:

Kaatsch et al., Int. J. Cancer: 1220, 721–726 (2008) und Spix et al., Eur J Cancer. 44, 275-284 (2008)

Leukämien um mehrere Zehnerpotenzen häufiger auftreten als in Deutschland und andernorts beobachtet.

- Im Rahmen der KiKK-Studie konnten Risikofaktoren nicht in hinreichendem Maße erhoben werden, deshalb kann die KiKK-Studie auch nicht zur Aufklärung der kausalen Ursachen für die beobachtete Abstandsabhängigkeit der Leukämieraten beitragen.
- Die Ursache für die beobachtete Erhöhung der Leukämierate bei Kindern in der KiKK-Studie ist nicht klar. Da die Entstehung von Leukämie multifaktoriell ist, ist eine Vielzahl von Einflussfaktoren möglich, die das beobachtete Ergebnis bewirkt haben könnten. Um die vielen widersprüchlichen Befunde in der Literatur und auch das Ergebnis der KiKK-Studie zu verstehen, ist eine weitergehende, interdisziplinäre Erforschung der Ursachen und Mechanismen der Entstehung von Leukämien im Kindesalter notwendig.

2 Die KiKK-Studie

2.1 Hintergrund

Um 1970 begann in den USA eine heftige Diskussion über eine mögliche Erhöhung der Säuglingssterblichkeit in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Seither wurde immer wieder der Verdacht geäußert, dass kerntechnische Anlagen die Gesundheit der Bevölkerung beeinträchtigen könnten, so dass zahlreiche epidemiologische Studien vor allem im Hinblick auf Leukämien im Kindesalter durchgeführt worden sind. Im Allgemeinen wurde dabei kein Zusammenhang zwischen Kernkraftwerken (also Anlagen, die der Energiegewinnung dienen) und Leukämien im Kindesalter gefunden. Etwas umstrittener ist die Situation für kerntechnische Anlagen, die nicht für die Energiegewinnung genutzt werden (z. B. Wiederaufarbeitungsanlagen). In einigen Kernkraftwerksstudien gab es Auffälligkeiten in bestimmten Alters- und Entfernungsgruppen, so z. B. bei Auswertungen des Deutschen Kinderkrebsregisters Mainz aus den Jahren 1992 und 1997 in der Gruppe von Kindern unter 5 Jahren im Abstand von bis zu 5 km vom Kernkraftwerk.

Diese Zusammenhänge wurden entweder mit „ökologischen Studien“ oder „Fall-Kontrollstudien“ untersucht. In ökologischen Studien werden Gruppen von Personen miteinander verglichen, für die keine Individualdaten vorliegen. Hieraus können massive Fehlschlüsse resultieren. Fall-Kontrollstudien können demgegenüber eine deutlich höhere Aussagekraft haben, denn in ihnen werden den Analysen individuelle Eigenschaften von Erkrankungsfällen und gesunden Kontrollen, im Folgenden Fälle und Kontrollen genannt, zugrunde gelegt.

Um verlässlichere Aussagen zur Beziehung zwischen Krebs im Kindesalter, insbesondere Leukämien, und der Umgebung von Kernkraftwerken zu erhalten, initiierte daher das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) im Jahr 2001 eine Fall-Kontrollstudie. Verschiedene Gruppen trafen sich zu einem „Runden Tisch“ mit dem Ergebnis, dass ein 12-köpfiges Expertengremium mit epidemiologischem Fachwissen die Fragestellung und die Art der Studie ausarbeitete. Nach erfolgter Ausschreibung erhielt das Deutsche Kinderkrebsregister Mainz den Auftrag, diese Studie durchzuführen. Die Studie begann im Jahr 2003.

2.2 Design der KiKK-Studie

Unter dem Design einer Studie versteht man die Studienplanung einschließlich der Auswertungskonzeption. Die KiKK-Studie sollte prüfen, ob ein Zusammenhang besteht zwischen der Nähe der Wohnung zu einem Kernkraftwerk und dem Risiko, bis zum 5. Lebensjahr an Krebs zu erkranken. Dabei sollte der Abstand als Näherung (Proxy) für die durch die Kernkraftwerke verursachte Strahlenexposition dienen (S. 29 des Teils 1 der Studie). Im KiKK-Auswerteplan heißt es im Kapitel 3.3.1: *„Die Dosis bzw. Exposition der Kinder wird durch den Abstand des Hauptwohnsitzes zum Zeitpunkt der Diagnose (bei Kontrollen: Diagnosemonat des zugehörigen Falls) zum jeweils individuell nächstgelegenen, im Betriebszeitraum liegenden Leistungsreaktor abgeschätzt.“*

In Kapitel 3.3.2 heißt es weiter: *„Aus der vorgegebenen Hypothese (Kapitel 3.1) ergeben sich zwei grundsätzliche Anforderungen an die Modellierung der Dosis-Wirkungsbeziehung: 1. Die Dosis geht als stetige Größe ein („Abstandstrend“), 2. Die Dosis-Wirkungsbeziehung wird als monoton vorausgesetzt, das heißt, wenn eine Abhängigkeit des Risikos von der Dosis besteht, dann steigt das Risiko mit steigender Dosis („negativer Abstandstrend“).“*

Auch im Abschlussbericht (KiKK Teil 1, Kap. 2.5.2, S. 29) wird der Bezug zwischen Dosis und Abstandsmaß explizit formuliert: *„Aus strahlenbiologischen Überlegungen legt man in der Epidemiologie ein Modell vom Typ **Relatives Risiko** (x) = $1+\beta x$ zugrunde (Linear No Threshold), wobei x die kumulierte Strahlendosis ist.“*²

Die Haupthypothese der Studie wurde in Form einer Fall-Kontrollstudie ohne Befragung der Fälle und Kontrollen überprüft (Teil 1 der Studie). Zusätzlich bestand die Aufgabe darin, mögliche „Confounder“ (Störfaktoren) zu identifizieren. Dies sollte in einem zweiten Schritt mit Hilfe der Befragung einer Untergruppe der im Teil 1 der Studie untersuchten Population erfolgen (Teil 2 der Studie)³.

2.3 Durchführung der KiKK-Studie

Die Autoren der KiKK-Studie hielten sich eng an die im Operationshandbuch und im Auswerteplan vorgegebenen Aufgaben.

Für die 16 in die Studie eingeschlossenen Kernkraftwerke wurde die Studienregion in der Regel durch den Landkreis, in dem sich das Kernkraftwerk befindet, den nächstgelegenen Nachbarlandkreis und den nächsten östlich gelegenen Landkreis definiert. In einigen Fällen wurde ein vierter Landkreis hinzugenommen, um die Gebiete früherer durchgeführter Studien vollständig abzudecken.

In der KiKK-Studie Teil 1 begann der Studienzeitraum jeweils ein Jahr nach Inbetriebnahme eines Reaktors am betreffenden Standort, frühestens aber am 1. Januar 1980. Der Studienzeitraum endete 5 Jahre nach Stilllegung des letzten Reaktors am Standort, spätestens aber am 31. Dezember 2003. Der Studienzeitraum wurde in zwei Teilperioden

² In Fall-Kontrollstudien wird das Odds Ratio (OR) ermittelt, was man bei niedriger Prävalenz als eine gute Näherung für das relative Risiko, was hier im Folgenden benutzt wird, verwenden kann.

³ Anmerkung: Wenn im Folgenden von der KiKK-Studie gesprochen wird, so sind immer beide Teile der Studie gemeint; wird spezifisch Bezug genommen auf einen der beiden Teile, so wird dies durch die Bezeichnungen „KiKK-Studie Teil 1“ und „KiKK-Studie Teil 2“ deutlich gemacht. Zusätzlich sollte man in diesem Zusammenhang auch die Publikationen Kaatsch et al., Int. J. Cancer: 1220, 721–726 (2008) und Spix et al., Eur. J. Cancer: 44, 275–284 (2008) der Vollständigkeit halber beachten.

unterteilt, wobei die erste Teilperiode die ersten elf Jahre des jeweiligen Studienzeitraums umfasst.

Als Fälle galten alle im Deutschen Kinderkrebsregister Mainz für die Studienregion (Wohnort zum Zeitpunkt der Diagnose) und den Studienzeitraum gemeldeten erstmaligen, nach der International Classification of Childhood Cancer (ICCC) als bösartig klassifizierten Neubildungen. Es wurden auch Analysen für die folgenden Untergruppen durchgeführt: Leukämien (ICCC: Ia-Ie), akute lymphatische Leukämien (Ia), akute myeloische Leukämien (Ib), Tumoren des Zentralnervensystems (ZNS, IIIa-IIIc) und embryonale Tumoren⁴ (IVa, V, VIa).

Die Kontrollen stimmten mit den Fällen in Geschlecht und Geburtsjahr überein und wohnten im Alter der Falldiagnose in der gleichen Kernkraftwerksregion. Die Gemeinden wurden um die Angabe von jeweils insgesamt 6 Kontrolladressen gebeten. Für jeden Fall wurden drei der gemeldeten Kontrolladressen zufällig ausgewählt.

Für die Wohnadressen der Fälle und Kontrollen wurde der Abstand vom ältesten Abluftkamin am jeweiligen Kernkraftwerksstandort bestimmt.

Die vorab vom Expertengremium festgelegte Hypothese der KiKK-Studie (Nullhypothese) lautete: *„Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Nähe der Wohnung zu einem Kernkraftwerk und dem Risiko, bis zum 5. Lebensjahr an Krebs zu erkranken. Es liegt kein negativer Abstandstrend des Erkrankungsrisikos vor.“* Die Alternativhypothese lautete: *„Es liegt ein negativer Abstandstrend vor. Fälle wohnen tendenziell häufiger in der Nähe eines Kernkraftwerkes.“*

Die Daten (Odds Ratios als Näherung für das relative Risiko) der gematchten Fälle und Kontrollen wurden sowohl kontinuierlich als auch kategoriell ausgewertet, wobei die Hypothese einseitig getestet wurde.

Bei der kontinuierlichen Auswertung wurde aus den Daten der gematchten Fälle und Kontrollen der beste Schätzwert für einen Parameter β gemäß einem aus strahlenbiologischen Gründen gewählten Modell Relatives Risiko (x) = $1 + \beta x$ mit $x = 1/r$ bestimmt und die untere einseitige 95 %-Konfidenzgrenze ermittelt. Die Nullhypothese war abzulehnen, wenn sich β signifikant größer als Null ergab.

Bei der kategoriellen Auswertung wurden die Daten der gematchten Fälle und Kontrollen nach den Kategorien von Wohnungen in bis zu 5 km Entfernung und Wohnungen in mehr als 5 km Entfernung ausgewertet. Eine analoge Auswertung erfolgte für die Kategorien mit der Grenze bei 10 km. Dazu wurde für diese Kategorien jeweils ein Odds Ratio (OR) als Näherung für das relative Risiko für den Vergleich innerhalb mit außerhalb der jeweiligen Abstandsgrenzen mit einseitiger unterer 95 %-Konfidenzgrenze geschätzt. Die Nullhypothese war abzulehnen, wenn sich ein OR signifikant > 1 ergab.

In der KiKK-Studie Teil 2 sollten mögliche Risikofaktoren, die eventuell als Confounder wirken könnten, erhoben werden. Den Fall- und Kontrollfamilien wurden ein Informationsflyer und ein Kurzfragebogen zugesandt. Es wurde angegeben, dass der Einfluss von Umwelt- und Lebensbedingungen auf die Entstehung von Krebserkrankungen bei Kindern untersucht werden solle. Diejenigen Familien, die nicht antworteten und von denen nicht bekannt war, dass das Kind zwischenzeitlich an Krebs verstorben war, wurden – falls möglich – telefonisch kontaktiert.

⁴ Embryonale Tumoren entstehen während der Organbildung durch Gewebe-Fehldifferenzierung. Zu den embryonalen Tumoren gehören unter anderen Wilms tumor, Retinoblastom und Neuroblastom.

Mit denjenigen Familien, die zur Mitarbeit bereit waren, wurde ein computergestütztes telefonisches Interview durchgeführt. Es wurde bevorzugt die leibliche Mutter des Kindes befragt.

2.4 Ergebnisse der KiKK-Studie

In Teil 1 der Studie wurden die Abstände der Wohnorte vom nächsten Kernkraftwerk für 1 592 in der Umgebung von 16 deutschen Kernkraftwerken gemeldete Krebsfälle bei unter 5-Jährigen im Zeitraum 1980 bis 2003 und für 4 735 Kontrollpersonen ausgewertet. Die Analyse ergab für die Gesamtheit der Krebsfälle einschließlich Leukämie ein signifikantes Ergebnis für den Koeffizienten des inversen Abstandes zwischen Wohnadresse zum Zeitpunkt der Krebsdiagnose und dem nächstgelegenen Kernkraftwerk ($\beta = 1,18$, untere einseitige 95 %-Konfidenzgrenze: 0,46)⁵. In Teilperiode 1 war der beste Schätzwert des Abstandskoeffizienten 1,89 (untere einseitige Konfidenzgrenze: 0,85) und in Teilperiode 2 war er 0,54 (untere einseitige Konfidenzgrenze: -0,47) (Tab. 1). Der Unterschied ist aufgrund der großen statistischen Unsicherheiten allerdings nicht signifikant. Innerhalb des 5 km-Radius um die Kernkraftwerke war das Krebsrisiko der unter 5-Jährigen gegenüber dem Studiengebiet außerhalb des 5 km-Radius um einen Faktor 1,61 erhöht (untere einseitige 95 %-Konfidenzgrenze: 1,26, also > 1).

Der Erfolg der Rekrutierung der Kontrollen war im inneren Umkreis der Kernkraftwerke geringer als in den weiter entfernten Regionen, was zu einer Überschätzung des mittleren Abstandes der Wohnorte von Kontrollkindern führen könnte. Eine Beschränkung der Analyse auf Fall-Kontrolldaten, für die alle Kontrollen geliefert wurden, ergab eine geringfügige Verringerung des Abstandskoeffizienten (Tab. 1). Weiterhin ergab eine Überprüfung, dass für einige Fälle und Kontrollen fehlerhafte Adressen angegeben wurden. Eine Analyse einer Stichprobe unter Ausschluss der Daten, für die Fehler in der Adressangabe gefunden wurden, ergab ebenfalls eine geringfügige Verringerung des Abstandskoeffizienten. Insgesamt deuten die durchgeführten Sensitivitätsanalysen auf einen niedrigeren Abstandskoeffizienten hin als die in der Hauptanalyse gefundenen.

Für Leukämien (593 Fälle, 1 766 Kontrollen) wurde ein größerer Abstandskoeffizient gefunden als für alle Krebsfälle ($\beta = 1,75$, untere einseitige 95 %-Konfidenzgrenze: 0,65). Innerhalb der 5 km-Radien um die Kernkraftwerke war das Leukämierisiko der unter 5-Jährigen gegenüber dem Studiengebiet außerhalb des 5 km-Radius um einen Faktor 2,19 erhöht (untere einseitige 95 %-Konfidenzgrenze: 1,51).

⁵ $\beta > 0$ entspricht einer Erhöhung des Risikos mit zunehmender Nähe zu einem Kernkraftwerk.

Tab. 1: Zusammenstellung einiger Ergebnisse der KiKK-Studie für den Regressionskoeffizienten (bester Schätzwert und untere einseitige 95 %-Konfidenzgrenze) der Abhängigkeit von Erkrankungsrisiken unter 5-Jähriger vom inversen Abstand des Wohnorts zum nächsten Kernkraftwerk. Ein positiver Wert entspricht einer Abnahme des Risikos mit zunehmendem Abstand. Teilperiode 1 entspricht der ersten Hälfte der jeweiligen Reaktorlaufzeit, Teilperiode 2 der zweiten Hälfte

Erkrankungen	Einschränkung der Studien- gruppe	Anzahl von Erkrankunge n	Regressionskoeffizient	
			Bester Schätzwert ^{*)}	Untere Konfidenz- grenze
Alle Krebserkrankungen	Keine	1592	1,18	0,46
	Teilperiode 1	698	1,89	0,85
	Teilperiode 2	894	0,54	-0,47
	Adressen für alle Kontrollpersonen vorhanden	1310	1,01	0,47
	Adressen korrekt	1132	1,05	0,59
Leukämien	Keine	593	1,75	0,65
	Beteiligung am Telefoninterview	273	0,44	-1,86
	Teilnehmer Teil 2 mit Adresse im Studiengebiet	230	0,33	-2,19
Akute lymphatische Leukämien	Keine	512	1,63	0,39
Akute myeloische Leukämien	Keine	75	1,99	-0,41
ZNS-Tumoren	Keine	242	-1,02	-3,40
Embryonale Tumoren	Keine	486	0,52	-0,83

^{*)} Der Wert ist signifikant, wenn die untere Konfidenzgrenze > 0 ist.

Für akute lymphatische Leukämien war der beste Schätzwert des Abstandskoeffizienten etwas geringer, für akute myeloische Leukämien etwas höher als für alle Leukämien zusammen (Tab. 1). Für Erkrankungsrisiken an ZNS-Tumoren und embryonalen Tumoren wurde kein statistischer Zusammenhang mit dem Abstand vom nächstgelegenen Kernkraftwerk gefunden.

Auf Bitte der Strahlenschutzkommission hatten Sarah Darby und Simon Read in einer unabhängigen Auswertung die Rohdaten der KiKK-Studie analysiert (s. Kap. 4). Tab. 2 zeigt das Analyse-Ergebnis einer kategoriellen Auswertung, ohne dass sich die einzelnen Kategorien überlappen. Eine signifikante Erhöhung wird nur im Abstand kleiner 5 km beobachtet.

Tab. 2: *Geschätzte Odds Ratios (relative Risiken) für akute Leukämien (n=587) bei Kindern unter 5 Jahren für 6 Abstandskategorien zwischen Wohnort und dem nächsten Kernkraftwerk (S. Darby und S. Read 2008)*

Abstand vom KKW in km	Odds ratio ^{*)}	95%-Konfidenzintervall	P-Wert für den Test auf Unterschied vom Bereich 10-29 km (2-seitig)	Anzahl der Fälle	Anzahl der Kontrollen
< 5	2,27	(1,45 - 3,56)	0,0003	37	54
5-9	1,09	(0,78 - 1,52)	0,62	57	170
10-29	1,00	-	-	327	1.039
30-49	1,12	(0,87 - 1,43)	0,38	135	385
50-69	0,95	(0,56 - 1,61)	0,85	27	89
70+	1,11	(0,34 - 3,63)	0,86	4	11
Gesamtanzahl				587	1748

^{*)} Der Wert ist signifikant, wenn die untere Grenze des Konfidenzintervalls >1 ist.

Im Beobachtungszeitraum wurde ein erheblicher Zuzug in die Untersuchungsregionen festgestellt. Im Mittel lag der Wanderungssaldo in den Regionen um die einzelnen Kernkraftwerke sogar bei einigen Tausend Personen pro Jahr.

In Teil 2 der Studie stellte sich heraus, dass die Eltern der Fälle in der näheren Umgebung der Kernkraftwerke deutlich seltener die an sie gestellten Fragen beantworteten als die Eltern der Kontrollen. Die Analyse der Leukämiedaten für Personen, die sich am telefonischen Interview beteiligt hatten, ergab einen geringen nicht-signifikanten Abstandskoeffizienten ($\beta = 0,44$). Wegen des großen Unterschiedes zum Ergebnis des Teils 1 der Studie zogen die Autoren den Teil 2 der Studie nicht zur Interpretation der Ergebnisse von Teil 1 der Studie bezüglich möglicher Störfaktoren (Confounder) heran.

Die dennoch durchgeführten Analysen möglicher Einflüsse von Confoundern ergaben ein uneinheitliches Bild.

Unter den Probanden gab es auch solche, die bis zum Stichtag nie im Studiengebiet gewohnt hatten (die also von vornherein nicht in die Studie hätten eingeschlossen werden dürfen). Unter Ausschluss dieser Teilnehmer und unter Verwendung des mittleren Abstands der Wohnorte während der Beobachtungszeit (statt des Abstandes des Wohnortes zum Zeitpunkt der Diagnose) ergab sich ein geringerer Abstandskoeffizient als für alle Teilnehmer an Teil 2 der Studie.

2.5 Zusätzliche Publikation im Deutschen Ärzteblatt 2008

In einer ergänzenden Arbeit (Kaatsch et al. 2008 im Deutschen Ärzteblatt, im Druck) wurden folgende zusätzliche Betrachtungen der Autoren der KiKK-Studie veröffentlicht:

In der KiKK-Studie wurden relative Risiken für Leukämie bzw. Krebs im Kindesalter auf der Grundlage der beteiligten Erkrankungsfälle und Kontrollen berechnet (die z. T. nur unvollständig berücksichtigt werden konnten). In dieser Arbeit wurden auf der Grundlage der vollständigen Daten des Deutschen Kinderkrebsregisters Mainz zusätzlich standardisierte Inzidenzverhältnisse (SIR) für Leukämien berechnet. Diese standardisierten

Inzidenzverhältnisse geben das Verhältnis der Zahl beobachteter Erkrankungsfälle zur Zahl erwarteter Erkrankungsfälle an. Die erwarteten Erkrankungsfälle berechnen sich aus der Zahl der Einwohner unter 5 Jahren in der untersuchten Region und der im gleichen Zeitraum bundesweit beobachteten Erkrankungshäufigkeit. Hier zeigten sich folgende Ergebnisse:

- Für die gesamte KiKK-Studienregion (41 Landkreise) ergibt sich ein SIR von 0,99 (Konfidenzintervall, KI: 0,92-1,07), welches somit praktisch identisch mit $SIR=1$ ist, also der im Bundesdurchschnitt zu erwartenden Inzidenz.
- Für die 15 den einzelnen Kernkraftwerksstandorten zugeordneten Gruppen von Landkreisen variieren die SIR nicht signifikant zwischen 0,85 und 1,21.
- Für die 5 km-Zone ergibt sich ein SIR von 1,41 (KI 0,98-1,97).
- Die Inzidenzen für Gemeinden, deren Ortsmittelpunkt weiter als 5 km vom nächstgelegenen Kernkraftwerk entfernt ist (5-10, 10-30, 30-50, 50-70, über 70 km), liegen zwischen 0,85 und 1,00.
- Betrachtet man die Gemeinden mit Mittelpunkt innerhalb der 5 km-Zone nach Gebietstyp getrennt, so betragen die SIR für den ländlichen Gebietstyp 1,81, für den gemischten Gebietstyp 1,18 und für den urbanen Gebietstyp 1,71. Keiner dieser SIR ist statistisch signifikant erhöht, ein Trend ist nicht vorhanden. Ferner bleiben die Schätzer für die 5 km-Zonen um Kernkraftwerke davon unberührt, so dass die Tatsache, dass Kernkraftwerksstandorte bevorzugt in ländlichen Regionen angesiedelt sind, den Zusammenhang der Kernkraftwerksstandorte mit der Leukämiehäufigkeit nicht erklärt.

Die Autoren stellen in der Diskussion fest, dass auch die KiKK-Studie – wie fast alle empirischen, nicht-experimentellen Studien – potentielle Verzerrungen und Limitationen aufweist. Hierzu zählen sie folgende Punkte:

- Die Daten der KiKK-Studie sind nicht unabhängig von den Daten der beiden vorangegangenen Studien des Deutschen Kinderkrebsregisters Mainz. Die KiKK-Studie stellt somit keine unabhängige Bestätigung der Ergebnisse der früheren Studien dar.
- Da die Kooperationsbereitschaft der Gemeinden in Abhängigkeit von der Entfernung zum Kernkraftwerk variierte, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, die zeigten, dass die Probleme bei der Kontrollrekrutierung eine leichte Überschätzung des Effekts bewirkt haben dürften.
- In der KiKK-Studie konnten Confounder nicht berücksichtigt werden, weil die notwendigen Informationen nicht erhoben werden konnten.
- Zur Abstandsbestimmung standen nur die Wohnadressen zum Zeitpunkt der Diagnose zur Verfügung, jedoch keine Informationen über die individuelle Wohnhistorie. Die erzielte Genauigkeit bei der individuellen Abstandsermittlung spiegelt somit möglicherweise in Hinblick auf eine „Exposition“ durch die Kernkraftwerke nur eine Pseudogenauigkeit wider.
- Die Interpretation des Abstands als Maß für die Strahlenexposition ist problematisch. Es standen keine Daten zur Strahlenexposition zur Verfügung, und es wurde keine Hintergrundstrahlenexposition berücksichtigt. Die Variation dieser Strahlenexposition ist um ein Vielfaches höher als die Variation der Strahlenexposition um ein Kernkraftwerk bei Normalbetrieb.
- Die Modellierung einer stetigen Abstandskurve hat zwar statistische Vorteile, aber auch mehrere Nachteile. Daher ist es sinnvoll, attributive Erkrankungsfälle nur für den

Abstandsbereich mit einem wirklich deutlichen Effekt zu berechnen. (Die Wahl des Abstandsmaßes $1/r$ wird übrigens mit dem Vorschlag von UNSCEAR (Expertengruppe der Vereinten Nationen) begründet, wo das Ausmaß der Strahlenexposition als Funktion des Abstandes von einer entsprechenden Punktquelle in dieser Form abgeschätzt wurde.)

- Nach Auffassung der Autoren ist ein ursächlicher Zusammenhang mit der Exposition ionisierender Strahlung von Kernkraftwerken eher unwahrscheinlich, da die Strahlenexposition durch ein Kernkraftwerk im Normalbetrieb mindestens um den Faktor 1000 niedriger ist als die natürliche Strahlenexposition in Deutschland.
- Auf dem ICNIRP/WHO/BfS-Workshop „Risk factors to childhood leukemia“ in Berlin 2008 wurde von internationalen Fachleuten diese Auffassung geteilt. So belegte auch der Berliner Workshop, dass eine Vielzahl möglicher Ursachen für Leukämien bei Kindern denkbar ist und wahrscheinlich eine Kombination unterschiedlicher Faktoren an der Ätiologie beteiligt ist.

3 Gegenwärtiger Kenntnisstand

3.1 Biologische und epidemiologische Erkenntnisse zur Leukämie-Entstehung im Kindesalter

Die gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnisse über den Ablauf, wie eine Leukämie im Kindesalter entsteht, sind außerordentlich lückenhaft. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass sich in der Vergangenheit die Forschungsaktivitäten auf andere Erkrankungen konzentriert haben, da Leukämie im Kindesalter eine ausgesprochen seltene Erkrankung ist: Im Alter zwischen 0 und 15 Jahren treten in Deutschland pro Jahr etwa 5 Fälle unter 100 000 Kindern auf; bei unter 1-Jährigen sind es etwa pro Jahr 4 Fälle pro 100 000 Kinder und bei den 1- bis 4-Jährigen etwa pro Jahr 9 Fälle pro 100 000 Kinder. In anderen Ländern sind diese Werte ähnlich. Auch wenn man alle Krebsfälle bei Kindern bis 15 Jahre berücksichtigt, findet man, dass es sich um sehr seltene Ereignisse handelt, da etwa pro Jahr 15 Fälle pro 100 000 Kinder beobachtet werden⁶. Auffällig ist, dass bei Kindern, im Unterschied zu Erwachsenen, nahezu ausschließlich die akuten Formen der Leukämie und so gut wie keine chronischen Formen auftreten.

In den Blutzellen von relativ vielen Neugeborenen beobachtet man Auffälligkeiten im Erbmateriel (z. B. chromosomale Translokationen, Amplifikationen), die als relevant für die Leukämieentstehung angesehen werden. Die Zahl von Kindern, die schließlich mit solchen Auffälligkeiten eine Leukämie entwickeln, ist jedoch sehr viel geringer als die Zahl derer, die solchermäßen veränderte Blutzellen tragen (z. B. um einen Faktor 100 im Fall der Fusion der Gene *TEL* und *AML1*). Man schließt daraus, dass die Initiation („in-Gang-Setzung“) bereits während der Schwangerschaft erfolgt, dass diese aber alleine nicht ausreicht. Daraus folgt, dass weitere Faktoren hinzukommen müssen, die den bereits eingeleiteten Prozess fortführen. Epidemiologische Untersuchungen haben den Verdacht auf zahlreiche Faktoren gelenkt, die in diesen sehr komplexen Prozessen eine Rolle spielen könnten. Dass die epidemiologischen Ergebnisse teilweise sehr widersprüchlich sind, hängt vor allem damit zusammen, dass es sich bei der Leukämieentstehung um ein Geschehen mit mehreren möglichen Faktoren handelt, die unter Umständen erst in ihrem

⁶ Zahlenangaben aus dem Deutschen Kinderkrebsregister Mainz;
http://info.imsd.uni-mainz.de/K_Krebsregister/

Zusammenwirken krankheitsrelevant sein können. Dabei ist der Beitrag einzelner Faktoren nur schwer nachzuweisen.

Eine Fülle von Faktoren steht zumindest im Verdacht, Leukämien im Kindesalter auszulösen oder eine durch einen anderen Faktor in Gang gesetzte Leukämie fortzuführen oder auch eine Leukämieentstehung zu verhindern (ausführlich wird auf diese Faktoren im wissenschaftlichen Anhang eingegangen werden). Dass Leukämien im Kindesalter durch ionisierende Strahlung ausgelöst werden können, ist unumstritten. Hierbei ist die Höhe der Strahlendosis von zentraler Bedeutung. Weitere als Leukämie-Auslöser oder -Unterstützer zumindest im Verdacht stehende Faktoren betreffen verschiedene Chemikalien (wie Benzol und andere Kohlenwasserstoffe, Pestizide, Chemotherapeutika), Magnetfelder (wobei hier bisher kein biologischer Mechanismus bekannt ist, der diese, auch nicht in allen Studien gefundenen Ergebnisse erklären könnte), den Sozialstatus (in letzter Zeit wieder umstritten, nachdem es lange als ziemlich gesichert angesehen wurde, dass Kinder aus Familien mit einem hohen Sozialstatus ein erhöhtes Leukämierisiko aufweisen), das Geburtsgewicht (erhöhtes Risiko bei Kindern unter 2,5 kg und über 4 kg), genetische Prädispositionen (u. a. haben Kinder mit Down-Syndrom ein 10- bis 20-fach höheres Leukämierisiko als Vergleichskinder) und Infektionen.

Gerade der Faktor „Infektionen“ stellt sich sehr komplex dar, findet man hier doch sowohl Befunde für eine Leukämie-Auslösung bzw. -Unterstützung als auch für einen Schutz gegenüber Leukämien. Eine wesentliche Rolle spielt das Immunsystem in diesem Zusammenhang. Die Komplexität des Immunsystems und große Kenntnislücken bezüglich der immunologischen Mechanismen verhindern jedoch zurzeit eindeutige Antworten, so dass viele Aussagen spekulativ sind. In Bezug auf Kernkraftwerke und Immunologie kann spekuliert werden, ob die mikrobiologische Exposition durch Kühltürme oder Flüsse einen Risikofaktor darstellen könnte.

3.2 Auftreten von Leukämien im Kindesalter in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Seit 1983 berichtet wurde, dass in der Umgebung der englischen Wiederaufbereitungsanlage Sellafield vermehrt Leukämien bei 0- bis 24-Jährigen beobachtet wurden, ist in einer größeren Zahl von Studien die Frage untersucht worden, ob generell in der Umgebung kerntechnischer Anlagen mehr Leukämien auftreten als zu erwarten sind. Die Studien werden im Einzelnen im Anhang dargestellt. Die deutschen Studien berichteten folgende Ergebnisse:

1992 wurde eine Studie des Deutschen Kinderkrebsregisters Mainz publiziert, die einen Inzidenzvergleich kindlicher Leukämien im Zeitraum 1980 bis 1990 in der Umgebung von 20 Kernkraftwerken in den alten Bundesländern zum Gegenstand hatte. Das Design der Studie orientierte sich stark an einer Studie aus England und Wales, deren Ergebnis für Deutschland überprüft werden sollte. Deshalb wurden die Neuerkrankungen im 15 km-Radius um die Reaktorstandorte mit Kontrollregionen für Kinder im Alter von 0 bis 14 Jahren verglichen. Hierbei ergab sich kein erhöhtes Risiko. Betrachtete man jedoch in einer Zusatzanalyse die jüngste Altersgruppe (0 bis 5 Jahre) im 5 km-Radius, dann ergab sich ein signifikant erhöhtes Risiko. Bei Hinzunahme des Zeitraums 1991-95 blieb das Ergebnis erhalten.

1992 wurde ebenfalls eine Studie zur Häufigkeit kindlicher Leukämien in der Umgebung der drei Reaktorstandorte in den neuen Bundesländern vorgelegt, auch hier für den 15 km-Radius und die Altersgruppe 0 bis 14 Jahre. Der Zeitraum war 1961 bis 1988. Es zeigten sich keine statistischen Zusammenhänge, auch nicht für den 5 km-Radius.

In der Umgebung des Kernkraftwerks Krümmel und des Forschungszentrums Geesthacht trat im Zeitraum 1990 bis 1996 eine Häufung kindlicher Leukämien auf. Im 10 km-Radius lag für diesen Zeitraum eine signifikant erhöhte Erkrankungszahl vor, die auch in späteren Jahren erhöht blieb. Trotz intensiver Ursachenerforschung inklusive Chromosomenuntersuchungen, Auswertung der Überwachungsunterlagen und interner betrieblicher Unterlagen des Kernkraftwerks Krümmel ergab sich kein Beleg für einen ursächlichen Zusammenhang der aufgetretenen Leukämiehäufung mit den Emissionen dieser Anlagen.

1994 wurde für den Zeitraum 1984-93 eine erhöhte Leukämieinzidenz bei Erwachsenen (15 bis 64 Jahre) im 5 km-Radius des Kernkraftwerkes Krümmel berichtet. Die anschließende Überprüfung dieses Befundes für die Umgebung von vier norddeutschen Leistungsreaktoren im Rahmen einer Fall-Kontrollstudie (Norddeutsche Leukämie- und Lymphomstudie), bei der wichtige Risikofaktoren durch Befragung erfasst wurden und eine Quantifizierung der Exposition mit einem mathematischen Ausbreitungsmodell vorgenommen wurde, ergab kein erhöhtes Risiko durch die Kernkraftwerke.

Auch im Ausland wurden umfangreiche Studien zur selben Thematik durchgeführt:

In der COMARE 10-Studie wurde die Abhängigkeit der Kinderkrebshäufigkeit vom Abstand zu kerntechnischen Anlagen in Großbritannien untersucht. Hierbei wurde in der Umgebung von Kernkraftwerken keine Erhöhung der Häufigkeit von Leukämien im Kindesalter beobachtet. In einer neuen Analyse der Daten wurde die Auswertung soweit wie möglich den Bedingungen der KiKK-Studie angepasst. So wurden für unter 5-Jährige gemeldete akute Leukämiefälle untersucht. Es wurde keine Abhängigkeit der Inzidenzrate in den einzelnen Wahlbezirken (Wards) vom Abstand zum nächstgelegenen Kernkraftwerk gefunden.

Eine neuere Studie untersucht den Zusammenhang von Kinderleukämie in der Umgebung kerntechnischer Anlagen in Frankreich und Knochenmarksdosen, die aus Daten für radioaktive Freisetzungen mit der Abluft berechnet wurden. Das Studiengebiet bestand aus 40 km × 40 km-Gebieten um insgesamt 24 Nuklearanlagen inklusive 19 Kernkraftwerken und der Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague. Die 2 107 Kommunen im Studiengebiet wurden in fünf Kategorien in Abhängigkeit der jährlichen effektiven Dosis aufgeteilt ($<0,045$, $-0,072$, $-0,316$, $-1,0$, $>1,0$ $\mu\text{Sv/Jahr}$). Im Zeitraum 1990 bis 2001 wurden im Französischen Nationalen Register für Kinderleukämie und -lymphome im Untersuchungsgebiet 750 akute Leukämiefälle im Alter unter 15 Jahren registriert. Die Leukämierate war geringer als im Landesdurchschnitt, allerdings war der Unterschied nur grenzwertig signifikant (Standardisiertes Inzidenzverhältnis (SIR) von 0,94 mit 95 %-Konfidenzintervall von 0,88 bis 1,01). Das SIR war in keiner der fünf untersuchten Dosiskategorien signifikant erhöht. In keiner der untersuchten Altersgruppen, also auch nicht für unter 5-Jährige, gab es eine Evidenz für eine Dosisabhängigkeit des SIR.

Im Jahr 2007 wurde eine Meta-Analyse von Baker et al. zu kindlichen Leukämien und der Nähe zu Kernkraftwerken publiziert. Insgesamt wurden darin 136 Anlagen eingeschlossen. Es wurden separate Modelle für Studien, basierend auf Mortalitäts- und Inzidenzdaten berechnet. Effektschätzer wurden jeweils separat für die Altersgruppe 0-9 Jahre und 0-25 Jahre berechnet sowie für die Distanzen <16 km und 0-25 km. Alle Modelle ergaben erhöhte Risiken. Diese lagen im Bereich von +2 % bis +25 % und waren in den meisten Fällen statistisch signifikant. Es gab keine Hinweise, dass ein Publikationsbias vorliegt. Die Autoren fanden jedoch keine Evidenz für eine Hypothese, die das Zusatzrisiko erklärt: Auf der Basis von Studien, die Dosis-Wirkungs-Beziehungen hergeleitet haben, ist es unplausibel, dass die geringe zusätzliche ionisierende Strahlung von Kernkraftwerken die Risikoerhöhung erklären kann. Als alternative Erklärungen wird von den Autoren eine

Hypothese von Gibson bzw. Wheldon erwähnt, die synergistische Effekte zwischen ionisierender Strahlung und Exposition gegenüber chemischen Schadstoffen vermutet. Es wird eine Reihe von Studien zitiert, die keine Veränderungen der Leukämieraten fanden, wenn Kernkraftwerke in Betrieb gingen oder abgeschaltet wurden. Andere Studien fanden in Planungsregionen von Kernkraftwerken erhöhte Risiken. Es wurde daher spekuliert, dass es eine andere Exposition als die ionisierende Strahlung ist, die für die beobachteten erhöhten Risiken verantwortlich ist. Ein solcher Faktor wurde bisher nicht identifiziert. Ebenfalls diskutiert wurde die Möglichkeit des „Population mixing“, das mit einer Veränderung der Konzentration und/oder dem Auftreten von Krankheitserregern verbunden sein könnte; ein entsprechender Erreger (Virus, Bakterium) konnte aber bisher nicht identifiziert werden. Es gibt allerdings auch Kritik an der Methodik der Metaanalyse von Baker et al. Diese bezieht sich vor allem darauf, dass die Einschlusskriterien für berücksichtigte Studien nicht angegeben sind und Hinweise bestehen, dass negative Studien unterrepräsentiert sind.

Für die Gesamtbewertung der deutschen Studien und weiterer Studien aus Großbritannien, Frankreich, Spanien, den USA, Kanada und Japan ergeben sich mehrere Probleme, die die Vergleichbarkeit der publizierten Studien erschweren:

- Unterschiedliche Wahl der Bezugspopulation (Gesamtpopulation, Vergleichsregion)
- Unterschiedliche Definition der „Umgebung“ (konzentrische Kreise, Berücksichtigung administrativer Einheiten)
- Unterschiedliche Wahl der jüngsten Altersgruppe (0-5 Jahre, 0-14 Jahre, 0-24 Jahre)
- Unterschiedliche Krankheitsgruppen (einzelne Leukämieformen, alle Leukämien, Leukämien und Lymphome, alle kindlichen Krebserkrankungen)
- Unterschiedliche Zielereignisse (Neuerkrankungen, Sterblichkeit)
- Nicht erfolgte Publikation weiterer Studien (Publikations-Bias).

Dennoch lässt sich zusammenfassend festhalten, dass eine schwache Erhöhung der Leukämieinzidenz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen zu beobachten ist, die sich in der jeweils jüngsten Altersgruppe in der nächsten Umgebung der Anlagen zeigt. Abschätzungen der Exposition der Bevölkerung lassen nach übereinstimmender Einschätzung fast aller Autoren einen kausalen Zusammenhang mit den radioaktiven Ableitungen der Anlagen als unvereinbar mit dem wissenschaftlichen Kenntnisstand erscheinen. In mehreren Studien werden alternative Erklärungsansätze analysiert oder zumindest diskutiert, die aber insgesamt kein konsistentes Bild ergeben.

3.3 Strahlenexposition

Um die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung von Kernkraftwerken umfassend zu beschreiben, müssen alle Beiträge zur Strahlenexposition berücksichtigt werden. Diese Beiträge sind nachstehend aufgeführt und kurz erläutert.

Anmerkung: Angaben über die Strahlenexposition der Bevölkerung werden hier und allgemein als Organäquivalentdosen oder als effektive Dosen, beide in mSv, gemacht. Nach Empfehlungen der ICRP sind aber bei Risikoabschätzungen die Strahlenexpositionen in Einheiten der Energiedosis in mGy zu betrachten. Bei der Betrachtung von Organdosen ist die Angabe von mSv im Vergleich zu mGy konservativ, da ein Qualitätsfaktor von 20 für Alpha-Strahler angesetzt wird und damit die Dosis in mSv höher ist als die entsprechende Energiedosis. Bei Betrachtung der effektiven Dosis ist wegen der

Gewebewichtungsfaktoren im Einzelfall zu prüfen, ob die Angabe im Kontext sinnvoll und für Risikobetrachtungen nutzbar ist. In dieser Stellungnahme wird in solchen Fällen auf die jeweilige Organdosis zurückgegriffen.

3.3.1 Die natürliche Strahlenexposition

Die effektive Dosis durch natürliche Strahlung in Deutschland beträgt im Mittel 2,1 mSv pro Jahr. Individuelle Dosen variieren in einem 95 %-Häufigkeitsbereich von 1,2 mSv bis 4,6 mSv pro Jahr. Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus Beiträgen der externen Strahlenexposition durch die kosmische und die terrestrische Strahlung, die Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten und die Ingestion natürlicher Radionuklide zusammen.

Die Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten in Häusern ist die Hauptursache der Variabilität der natürlichen Strahlenexposition. Die mittlere effektive Dosis durch Radon beträgt 1,1 mSv pro Jahr (95 %-Häufigkeitsbereich 0,3 mSv bis 3,6 mSv pro Jahr). Die Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten bewirkt eine Organdosis des roten Knochenmarks mit einem Dosisleistungskoeffizienten von 0,3 mSv pro Jahr und pro 100 Bq/m³ Radon-Konzentration in Luft im Wohnbereich.

In Deutschland beträgt die externe Strahlenexposition durch kosmische Strahlung und durch terrestrische Strahlung im Mittel 0,7 mSv pro Jahr mit einem 95 %-Häufigkeitsbereich von 0,5 mSv bis 1,2 mSv pro Jahr. Baumaterialien von Gebäuden beeinflussen die externe Strahlenexposition. Insgesamt ist die Ortsdosisleistung in Gebäuden höher als im Freien. Die Unterschiede zwischen der natürlichen externen Strahlenexposition im Freien und in Häusern liegen bei jeweils ganzjährigem Aufenthalt im Mittel bei etwa 0,1 mSv pro Jahr. Je nach Baumaterial können die Unterschiede der externen Strahlenexposition in Häusern mehr als einen Faktor 6 ausmachen.

Die Strahlenexposition durch Ingestion ist mit einem Mittelwert von 0,3 mSv pro Jahr und einem 95 %-Häufigkeitsbereich von 0,2 bis 0,4 mSv pro Jahr relativ konstant.

3.3.2 Die medizinische Strahlenexposition

Die individuellen Strahlenexpositionen liegen zwischen 0,01 mSv und ca. 20 mSv pro diagnostischer Anwendung. Der Bericht der Bundesregierung an das Parlament (Parlamentsbericht) nennt für das Jahr 2006 für die medizinische diagnostische Strahlenexposition als Mittelwert für Deutschland 1,9 mSv pro Person pro Jahr (wobei auch die Personen mitgerechnet werden, die keine medizinische diagnostische Strahlenexposition erhalten haben). In der Vergangenheit lag dieser Wert niedriger. Er wurde im Jahr 1972 mit 0,5 mSv pro Person pro Jahr angegeben.

3.3.3 Die Strahlenexposition durch Kernwaffenversuche

Die durch den Fallout der oberirdischen Kernwaffenversuche in Deutschland verursachten effektiven Dosen lagen 1963 bei einem Spitzenwert von ca. 0,15 mSv pro Jahr und sanken in der Folgezeit stark ab. Im Jahr 2000 lagen sie noch bei 0,005 mSv pro Jahr. Integriert über 50 Jahre und alle Expositionspfade ergeben sich insgesamt ca. 1,2 mSv als effektive Dosis aus dem Kernwaffenfallout.

Für den Untersuchungszeitraum der KiKK-Studie lieferten die Hauptbeiträge zur Strahlenexposition die langlebigen Radionuklide H-3 (Tritium), C-14, Sr-90 und Cs-137. Die jährlichen Strahlenexpositionen aus diesen Quellen werden in den Parlamentsberichten der Bundesregierung mit < 0,01 mSv pro Jahr angegeben.

Die oberirdischen Kernwaffenexplosionen bewirkten in den 1960er Jahren eine Verdopplung der natürlichen spezifischen Aktivität des atmosphärischen Kohlenstoffs und

erhöhten die natürliche spezifische Aktivität des atmosphärischen Wasserstoffs um 3 Zehnerpotenzen. Diese Spitzenwerte der C-14- und H-3-Kontaminationen führten zu maximalen Strahlenexpositionen von jeweils ca. 0,01 mSv pro Jahr. Im Jahr 2000 war die Strahlenexposition als Folge der Kernwaffenfallouts von C-14 auf ca. 0,002 mSv pro Jahr gesunken, die Exposition durch H-3 aus der gleichen Herkunft belief sich auf weniger als 0,00001 mSv pro Jahr.

3.3.4 Die Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl

Durch den Fallout des Unfalls in Tschernobyl wurden in Deutschland Strahlenexpositionen verursacht, für die wegen der Inhomogenität des Fallouts ein Bereich der über 50 Jahre integrierten effektiven Dosen von 0,5 mSv bis 2,2 mSv angenommen werden muss.

Die mittleren jährlichen effektiven Dosen, summiert über alle Expositionspfade, lagen in Deutschland 1986 bei ca. 0,11 mSv. Sie sanken bis 1990 auf ca. 0,025 mSv und liegen seit 2000 bei weniger als 0,015 mSv.

3.3.5 Die zivilisatorische Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen

Die Überwachung der Ableitungen aus deutschen Kernkraftwerken besteht aus einem kombinierten System der Emissions- und Immissionsüberwachung, die eine Beurteilung der aus Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen ermöglicht und eine Kontrolle der Einhaltung von maximal zulässigen Aktivitätsabgaben sowie von Dosisgrenzwerten gewährleistet.

Aufgrund der Kontaminationen der Umwelt, wie durch die oberirdischen Kernwaffenexplosionen und den Fallout des Unfalls von Tschernobyl, sind Emissionsmessungen als Grundlage der Dosisermittlung in der Umgebung von Kernkraftwerken besser geeignet als Immissionsmessungen.

Ungeachtet dessen werden auch die Immissionen im Rahmen des Kernreaktorfernüberwachungssystems (KFÜ) nach der Richtlinie für die Emissions- und Immissionsüberwachung (REI) und mittels des integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS) überwacht. Die Leistungsfähigkeit der Überwachungssysteme wird in Deutschland anhand geforderter Nachweisgrenzen festgelegt. Über die geforderten Nachweisgrenzen der Messprogramme kann sichergestellt werden, dass Strahlenexpositionen von 0,001 mSv pro Jahr erkannt würden.

Detaillierte Informationen über die Jahresableitungen radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken für die gesamten Betriebszeiträume wurden der SSK vom BfS zur Verfügung gestellt. Zusammen mit den Wetterstatistiken würden diese Daten die Berechnung der durch Kernkraftwerke bewirkten zusätzlichen Strahlenexposition der Bevölkerung ermöglichen.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft oder dem Abwasser aus Kernkraftwerken wird in den Parlamentsberichten global stets mit < 0,01 mSv pro Jahr angegeben. Für einzelne Kernkraftwerke wurden in verschiedenen Jahren des Studienzeitraums der KiKK-Studie Werte zwischen < 0,0001 mSv und 0,02 mSv pro Jahr angegeben.

Bei diesen Angaben handelt es sich um die potentielle Strahlenexposition einer Referenzperson, die auf der Basis der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) berechnet wurden. Das Modell der AVV berechnet

für die verschiedenen zu berücksichtigenden Expositionspfade (äußere Bestrahlung aus der Wolke und durch auf dem Boden abgelagerte radioaktive Stoffe, Inhalation und Ingestion) die maximalen Aktivitätskonzentrationen in der Luft, auf dem Boden, in den Nahrungsmitteln und im Trinkwasser und unterstellt, dass sich die Referenzperson an der jeweils ungünstigsten Einwirkungsstelle für den jeweiligen Expositionspfad aufhält und die Nahrungsmittel und das Trinkwasser ausschließlich von den ungünstigsten Einwirkungsstellen bezieht. Die angenommenen Aufenthaltszeiten und die Verzehrsmengen sind in der Strahlenschutzverordnung festgeschrieben. Die dort angesetzten Daten sind abdeckend, jedoch unrealistisch hoch bezogen auf das Verhalten realer Personen. Sie sind derart konservativ festgelegt, damit gemäß § 47 StrlSchV die zuständige Behörde in Genehmigungsverfahren davon ausgehen kann, dass die Grenzwerte für die allgemeine Bevölkerung sicher eingehalten werden, wenn diese Parameter in Berechnungen der potentiellen Strahlenexposition nach der AVV zu § 47 StrlSchV herangezogen werden.

Zur Berechnung der in den Parlamentsberichten angegebenen Strahlenexpositionen der Referenzpersonen werden die tatsächlichen Emissionen der kerntechnischen Anlagen und die tatsächlichen Wetterbedingungen an den Standorten zugrunde gelegt. Ansonsten werden die Konservativitäten der AVV beibehalten.

Nach Einschätzung der SSK können die in Parlamentsberichten aufgeführten Werte für die Strahlenexposition einer Referenzperson durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken als konservative obere Grenze der tatsächlichen Strahlenexpositionen von Einzelpersonen in der Umgebung von Kernkraftwerken benutzt werden.

3.3.6 Die Strahlenexposition durch sonstige und diffuse anthropogene Strahlenquellen

Sonstige Strahlenexpositionen werden z. B. auch durch Flugreisen bewirkt. Durch die kosmische Strahlung erhält ein Reisender auf der Nordatlantikroute eine Strahlenexposition von ca. 0,006 mSv pro Stunde. Diese pro Flugstunde zu erwartende Strahlenexposition ist in der Größenordnung mit der jährlichen Strahlenexposition der Referenzperson in der Umgebung von Kernkraftwerken vergleichbar und liegt für eine ganze Reihe von Kernkraftwerken und Beobachtungsperioden sogar deutlich darüber.

Auch die Möglichkeit von Strahlenexpositionen durch Verwandte oder Bekannte nach therapeutischen nuklearmedizinischen Maßnahmen ist hier zu nennen. Bei Entlassungsaktivitäten von 400 MBq I-131 und bei Einhaltung vernünftiger Verhaltensweisen schätzt die EU (RP97) ab, dass die Strahlenexpositionen von Kindern unter zwei Jahren zwischen 0,8 mSv und 1,6 mSv liegen können. In Deutschland werden diese Expositionen dadurch begrenzt, dass nach der Richtlinie „Strahlenschutz in der Medizin“ die Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung im Abstand von zwei Metern 1 mSv im Kalenderjahr nicht überschreiten darf.

Diffuse Quellen anthropogener Radionuklide, wie die atmosphärische Kr-85-Aktivität und der Fallout von I-129 aus Wiederaufarbeitungsanlagen und auch Ausscheidungen von Patienten der Nuklearmedizin, vor allem von I-131, führen bisher in Deutschland nur zu vernachlässigbaren Strahlenexpositionen.

3.3.7 Die berufliche Strahlenexposition

Eine berufliche Strahlenexposition der Eltern kann für die Kinder der KiKK-Studie relevant sein. Angaben zur Verteilung der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland können den Parlamentsberichten entnommen werden. Detaillierte Daten zu Expositionen von Einzelpersonen sind ermittelbar.

Schlussfolgerung:

Die natürliche Radioaktivität und Strahlung, die oberirdischen Kernwaffenexplosionen, der Unfall von Tschernobyl und eine Vielzahl weiterer Ereignisse und Umstände haben eine Fülle von Erfahrungen zur Strahlenexposition des Menschen durch Radioaktivität in der Umwelt geliefert. Diese Erfahrungen umfassen alle Radionuklide (H-3, C-14, Spalt- und Aktivierungsprodukte, radioaktive Edelgase, Aktinide), die auch für die zusätzliche Strahlenexposition durch Kernkraftwerke relevant sind. Speziell die Erfahrungen der oberirdischen Kernwaffenversuche und des Unfalls von Tschernobyl lassen den Schluss zu, dass eine zusätzliche Umweltradioaktivität, die Strahlenexpositionen mit Jahresdosen oberhalb von 0,01 mSv verursacht, in der Umwelt so deutliche Spuren hinterlässt, dass sie messtechnisch zuverlässig erkannt werden kann.

3.4 Quantitative Abschätzung von Leukämie- und Krebsrisiken (alle Krebsarten) im Kindesalter nach Strahlenexposition mit niedriger Dosis

Die Oxford Survey of Childhood Cancers (OSCC) ist mit Abstand die größte Fall-Kontrollstudie zu Kinderkrebs (alle Krebsarten). In ihr wurden die Auswirkungen von Strahlenexpositionen *in utero* durch Röntgenuntersuchungen der Mutter untersucht. Die Studie schloss für den Zeitraum 1953 bis 1981 insgesamt 15 276 Krebstodesfälle im Alter von unter 16 Jahren und eine entsprechende Anzahl von Kontrollpersonen ein. Ungefähr 16 % der Fälle und 12 % der Kontrollpersonen hatten Röntgenuntersuchungen *in utero*. Über 90 % der Röntgenuntersuchungen fanden im dritten Trimester der Schwangerschaft statt, so dass sich die Ergebnisse der OSCC im Wesentlichen auf Expositionen in diesem Zeitraum beziehen.

Die OSCC ist auch für Leukämie im Kindesalter nach Röntgenuntersuchung *in utero* die größte der vorliegenden Studien. Bithell und Stewart analysierten im Jahr 1975 Daten bei Kindern jünger als 16 Jahre im Zeitraum 1953-1967 mit insgesamt 4 771 aufgetretenen Leukämie- und Lymphommortalitätsfällen und einer entsprechenden Anzahl von Kontrollkindern. 661 der Fälle (13,8 %) und 483 der Kontrollen (10,1 %) hatten Expositionen *in utero* durch Röntgenuntersuchungen der Mutter.

Die Hauptergebnisse der OSCC beziehen sich auf Krebserkrankungen von unter 16-Jährigen. Demgegenüber wurden in der KiKK-Studie Erkrankungen von unter 5-Jährigen untersucht. Muirhead und Kneale analysierten im Jahr 1989 die Altersabhängigkeit des relativen Kinderkrebsrisikos in den OSCC-Daten. Es ergab sich, dass das relative Risiko im Alter von unter 5 Jahren ungefähr um 10 % höher ist als im gesamten Altersbereich bis unter 16 Jahren. Dementsprechend ist das relative Risiko der unter 5-Jährigen nur unwesentlich höher als die relativ gut abgesicherten mittleren Risikowerte für das gesamte Kindesalter.

Zusammengenommen ergeben die Analysen der OSCC-Daten einen Schätzwert des relativen Risikos von ungefähr 1,4 sowohl für Leukämie als auch für die Gesamtheit aller Krebsarten im Lebensalter unter 5 Jahren nach Röntgenuntersuchungen *in utero* mit einer Fötusdosis von 10 mGy. Die obere Grenze des Konfidenzintervalls, die für eine *worst case*-Abschätzung relevant ist, liegt bei ungefähr 1,8.

Es gibt in der wissenschaftlichen Literatur eine intensive Diskussion über die Validität der OSCC. Insgesamt überwiegen die Argumente für eine Belastbarkeit der Studie. Insbesondere wurden auch die Ergebnisse der OSCC zu Krebs und zu Leukämie durch eine große Anzahl von Fall-Kontrollstudien bestätigt. Ergebnisse von Kohortenstudien

ergaben tendenziell niedrigere Risiken, waren aber im Rahmen der Unsicherheiten mit den Ergebnissen der OSCC verträglich.

Die Ergebnisse der OSCC beziehen sich auf Expositionen mit niedrig-LET-Strahlung mit Fötusdosen von einigen Milligray und mehr. Es gibt keine Evidenz für zusätzliche Risiken durch Expositionen mit Fötusdosen von 1 mGy oder weniger.

Zu Leukämie oder Krebsrisiken im Kindesalter nach postnatalen Expositionen ist weniger bekannt als für Expositionen *in utero*. Insgesamt gibt es jedoch Hinweise, dass das Risiko nach postnataler Exposition geringer ist als nach Exposition *in utero*.

Neben niedrig-LET-Strahlung trägt durch Kernkraftwerke hervorgerufene Alphastrahlung, wenn auch in sehr viel geringerem Maße, zur Strahlenexposition bei. Allerdings muss man berücksichtigen, dass die natürlicherweise auftretende Alphastrahlung durch Radon und Radonfolgeprodukte um mehrere Zehnerpotenzen höhere Expositionen bewirkt. Zum relativen Risiko für Leukämie und Krebs im Kindesalter durch Exposition mit Alphastrahlung liegen keine verlässlichen Informationen vor. Es gibt keine Evidenz gegen eine Anwendung des von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) empfohlenen Wertes der relativen biologischen Wirksamkeit von 20 für Alphastrahlung.

Vergleich mit in der KiKK-Studie berichteten Risiken

Die KiKK-Studie ergab für Kinder unter 5 Jahren beste Schätzwerte des relativen Risikos innerhalb des 5 km-Radius um die Kernkraftwerke im Vergleich zum Studiengebiet außerhalb des 5 km-Radius von 1,61 für alle Krebsarten und von 2,19 für Leukämien. Die berichteten Risiken sind also ähnlich hoch, beziehungsweise höher, als die in der OSCC für Strahlenexpositionen *in utero* mit Dosen von 10 mGy beobachteten Risiken. Für das Bewirken solcher Risiken durch Exposition im Kindesalter wären höhere Dosen notwendig. Es gibt keine Hinweise dafür, dass niedrigere Dosen höhere oder vergleichbare Risiken bewirken. Demnach müsste zur Erklärung der Ergebnisse der KiKK-Studie durch Strahlenexpositionen ein Unterschied der kumulativen Dosen innerhalb und außerhalb der 5 km-Radien in der Größenordnung von mindestens 10 mGy vorgelegen haben.

4 Unabhängige Neuauswertung der Daten der KiKK-Studie

Der Datensatz von Teil 1 der KiKK-Studie wurde von britischen Epidemiologen neu ausgewertet (siehe Bericht von Sarah Darby und Simon Read (2008) im wissenschaftlichen Anhang). Die Analysen ergaben eine Bestätigung der Hauptaussagen der KiKK-Studie und lieferten einige zusätzliche Ergebnisse.

Die zusätzlichen Ergebnisse wurden durch eine Analyse der Daten für akute Leukämien erzielt. Die Signifikanztests wurden zweiseitig durchgeführt. In der kategoriellen Auswertung wurde das Abstandsintervall mit der größten Anzahl von Fällen (10-29 km) als Referenzpunkt gewählt. Es wurden nicht-überlappende Abstandsintervalle untersucht. Weiterhin wurde eine separate Analyse der Hypothese-generierenden Daten (1980-1990) und der Hypothese-testenden Daten (1991-2003) vorgenommen.

Durch die Einschränkung auf akute Leukämien wurden 6 Leukämiefälle ausgeschlossen. Der Abstandskoeffizient ergab sich in voller Übereinstimmung mit der KiKK-Studie zu 1,70 (95 %-KI: 0,39; 3,02). Das Ergebnis ist signifikant ($p = 0,01$).

Für die 5 km-Radien um die Kernkraftwerke ergab sich ein relatives Risiko für Leukämie im Kindesalter von 2,27 (95 %-KI: 1,45; 3,56). Das Ergebnis ist hoch signifikant ($p = 0,0003$). Außerhalb der 5 km-Radien ergibt sich für keine Abstandskategorie ein

signifikant erhöhtes Risiko (Abb. 1). Die besten Schätzwerte liegen zwischen 0,95 (50-69 km-Radien) und 1,12 (30-49 km-Radien).

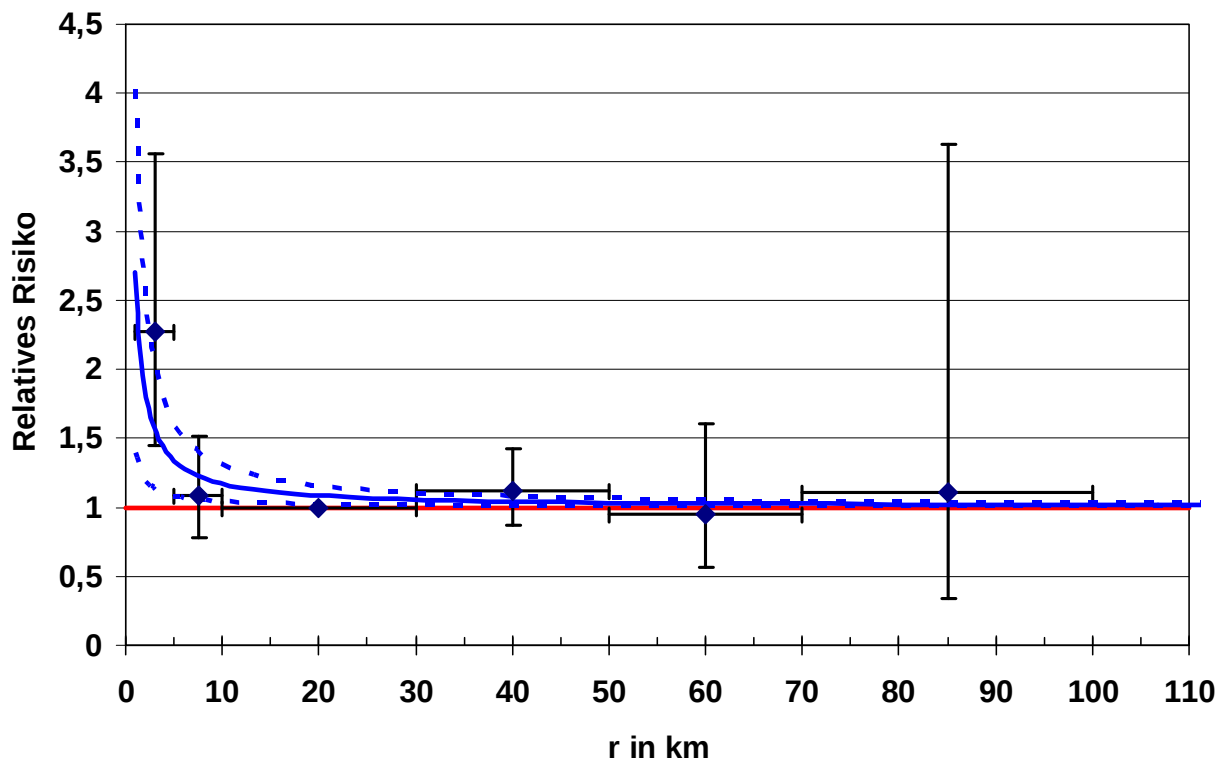


Abb. 1: Ergebnis der kategoriellen Auswertung (Punkte) und der stetigen Auswertung (Linien) durch Sarah Darby und Simon Read (2008) für akute Leukämien bei Kindern unter 5 Jahren (Relatives Risiko aus Tabelle 2 des Berichtes von Sarah Darby und Simon Read 2008). Die Balken in x-Richtung kennzeichnen die Breite der jeweiligen Regionen, die Balken in y-Richtung die 95 %-Konfidenzintervalle der Odds Ratios. Die durchgezogene Linie entspricht einem Modell $RR(x)=1+\beta x$ mit $x = 1/r$ und $\beta = 1,7$; die gestrichelten Linien entsprechen den β -Werten der Grenzen des beidseitigen 95%-Konfidenzintervalles, $\beta = 0,39$ und $\beta = 3,02$.

Das Risiko in den 5 km-Radien im Vergleich zum Studiengebiet außerhalb der 5 km-Radien war nicht nur für die Hypothese-generierende Periode, sondern auch für die Hypothese-testende Periode signifikant (s. auch 5.4.3). Unter Ausschluss von Fall-Kontrollgruppen, für die keine vollständige Information für alle Kontrollen vorlag, ergab sich ein relatives Risiko von 1,74 (95 %-KI: 1,02; 2,96). Diese Schätzung basiert auf 21 Erkrankungsfällen bei Kindern, die innerhalb der 5 km-Radien um die Kernkraftwerke in 13 Jahren aufgetreten sind. Das bedeutet, dass 9 Erkrankungsfälle den Einflussgrößen zuzuordnen sind, die für diesen Anstieg verantwortlich sind, was knapp einem Erkrankungsfall pro Jahr entspricht.

In ländlichen Gebieten war das Leukämierisiko höher als in städtischen Regionen. Das relative Risiko lag bei 1,85 (95 %-KI: 1,06; 3,23). Eine separate Analyse der ländlichen und der gemischten/städtischen Regionen ergab in beiden Fällen ein signifikant erhöhtes Risiko innerhalb der 5 km-Radien im Vergleich zum Studiengebiet außerhalb der 5 km-Radien.

Die Autoren des Berichtes über die Vergleichsrechnungen folgern, dass es innerhalb der 5 km-Radien um die Kernkraftwerke ein erhöhtes Risiko für akute Leukämie im Kindesalter gibt. Die Ursachen sind unbekannt. Die Analyse deutet darauf hin, dass auslösende Faktoren mit den Lebensbedingungen in den ländlichen Regionen um die Kernkraftwerke im Zusammenhang stehen könnten.

5 Bewertung der KiKK-Studie

5.1 Bewertung des Designs der KiKK-Studie

5.1.1 Expositionserfassung und radioökologische Aspekte

In der KiKK-Studie wird die Distanz zum nächsten Kernkraftwerk als Proxy für die Exposition gegenüber ionisierender Strahlung verwendet. Das gewählte Expositionsmaß $1/\text{Abstand}$ wird begründet mit einem vereinfachten gemittelten theoretischen Ausbreitungsmodell. Im Folgenden wird in Bezug auf die Expositionserfassung separat diskutiert, inwiefern aus radioökologischer Sicht der Abstand zum nächsten Kernkraftwerk die Exposition gegenüber ionisierender Strahlung widerspiegelt. Danach wird die Anwendung der Abstandsabhängigkeit in der Studie erörtert.

Distanz zum Kernkraftwerk als Expositionssurrogat

Mit dem Abstandsmaß wird nicht berücksichtigt, dass die Emissionen für die verschiedenen untersuchten Anlagen stark unterschiedlich sind und zeitlich variieren. Die Expositionen der Referenzperson Kleinkind unterscheiden sich um ca. einen Faktor 100 zwischen den Kernkraftwerken und in den verschiedenen Jahren. Dies stellt jedoch keine Beeinträchtigung der Analyse dar, da ein Fall mit 3 Kontrollkindern jeweils bezüglich Anlagenstandort und Diagnosezeitpunkt „gematcht“ wurde. Problematischer ist die Tatsache, dass aufgrund der meteorologischen Verhältnisse eine deutliche Richtungsabhängigkeit der Ausbreitung zu erwarten ist. Mit dem isotropen Ausbreitungsmodell wird dies nicht berücksichtigt, was zu einer Fehlklassifikation der Exposition führt. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass wegen einer solchen Fehlklassifikation eine Assoziation beobachtet wird, wenn tatsächlich keine besteht. Dasselbe gilt auch für die Strahlenexpositionen durch Ableitungen mit dem Abwasser, die geographisch an anderen Orten stattfinden und mit dem Abstandsmaß auch nicht berücksichtigt sind. Jedoch sind solche Expositionen im Vergleich zu denen aus Ableitungen mit der Fortluft sowieso von untergeordneter Bedeutung für die Bevölkerungsexposition.

Das Hauptproblem bei der Expositionsabschätzung ist, dass die Strahlenexpositionen gegenüber natürlichen und zivilisatorischen (einschließlich medizinischen) Quellen nicht ermittelt wurden. Diese Expositionen sind um Größenordnungen höher als die Strahlenexpositionen, die auf Kernkraftwerke zurückgeführt werden können, und weisen keine Abstandsabhängigkeit auf. Auch die Schwankungsbreite dieser Strahlenexpositionen ist im Untersuchungsgebiet erheblich höher als die Strahlendosen durch Kernkraftwerke. Daher ist der Abstand kein Maß für die individuelle Strahlenexposition.

Durch die ausschließliche Betrachtung des Abstandes zum Kernkraftwerk wird in der KiKK-Studie ein völlig unzureichendes Bild der gesamten Strahlenexposition der Betroffenen vermittelt. Dabei wurde die Fülle an Informationen, die über die natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung, über die Ableitungen aus Kernkraftwerken und die dadurch bedingten Strahlenexpositionen sowie über andere zivilisatorische Strahlenexpositionen im Laufe der letzten fünf Jahrzehnte angesammelt wurde, sowie das verfügbare radioökologische Wissen nicht genutzt. Ferner wurde kein

Versuch unternommen, Strahlenexpositionen durch Kernkraftwerke zu berechnen, wie dies bei einer vergleichbaren französischen Studie gemacht wurde. Eine solche Modellierung der Strahlenexposition wäre nach Einschätzung der SSK bei entsprechendem Aufwand auch bei der KiKK-Studie möglich gewesen und hätte hilfreiche zusätzliche Erkenntnisse geliefert.

Kategorielle oder stetige Auswertung

Bei der statistischen Auswertung kann man die Daten in Kategorien einteilen und auswerten oder eine stetige Funktion an die Daten anpassen. Beides hat Vor- und Nachteile. Bei der kategoriellen Auswertung sind keine Annahmen über die Kurvenform der Expositions-Wirkungs-Beziehung nötig. Dafür hat eine Auswertung mit einem kontinuierlichen Expositionsmaß grundsätzlich eine höhere statistische Macht (Power) als eine kategorielle Auswertung. Bei der Anpassung eines kontinuierlichen Expositionsmaßes an eine stetige Funktion besteht aber unter anderem die Gefahr, dass signifikante Effekte in einer oder mehreren Kategorien den gesamten Kurvenverlauf als erhöht erscheinen lassen, ohne dass dies in den übrigen Kategorien der Fall ist. Bei der gewählten stetigen Funktion ($1/r$) besteht insbesondere das Problem, dass es sich um eine nicht-lineare Transformation des Abstandsmaßes handelt. Damit üben Beobachtungen in kleiner Distanz zum Kernkraftwerk einen größeren Einfluss auf die Schätzung des Abstandskoeffizienten aus als Beobachtungen in großer Distanz. Diese sogenannte „Hebelwirkung“ ist in Abbildung 2 graphisch dargestellt. Die in der KiKK-Studie bestimmten Abstände der Fälle und Kontrollen von den Kernkraftwerken lagen zwischen 1 km und 92 km. Für das Abstandsmaß $x = 1/r$ bedeutet dies, dass alle Werte im Intervall $1/\text{km}$ und $0,01/\text{km}$ liegen. Von diesem Intervall entfallen auf Entfernungen kleiner 5 km 80 % [$1/\text{km}$, $0,2/\text{km}$]. Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass eine lineare Regression mit $1/\text{Abstand}$ als erklärende Variable fast unweigerlich signifikant werden muss, wenn sich das Ergebnis für die innerste Kategorie von den anderen Kategorien unterscheidet, obwohl nur ein geringer Anteil der Kontrollen und Fälle aus diesem Bereich stammen. Aus diesem Grund erachtet die SSK eine kategorielle Auswertung als adäquater.

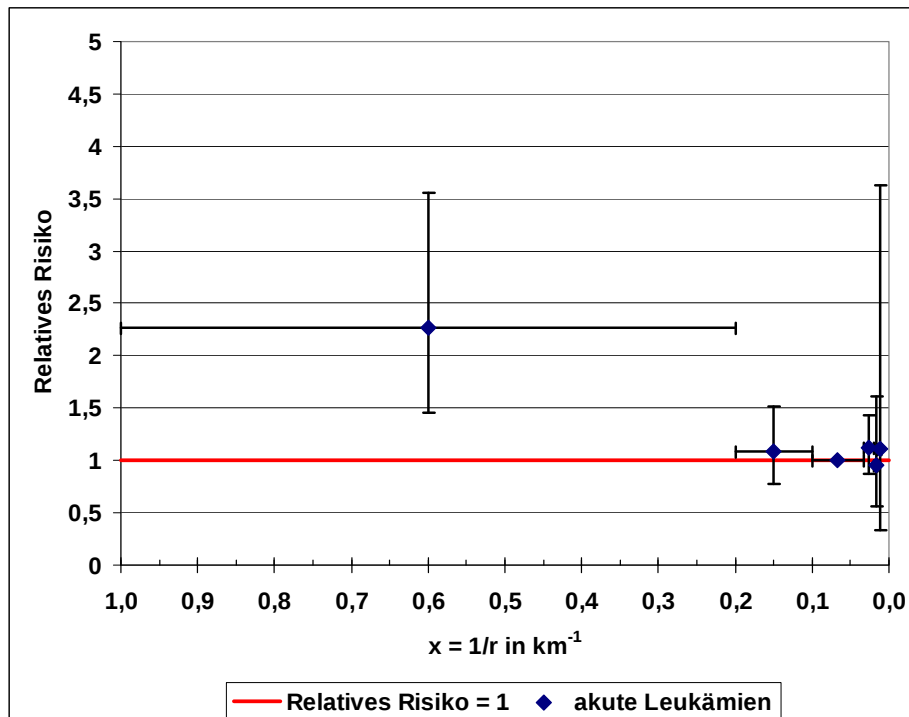


Abb. 2: Ergebnis der kategoriellen Auswertung (Punkte) für akute Leukämien bei Kindern unter 5 Jahren vs. $1/\text{Abstand}$. Die Balken in x -Richtung kennzeichnen die Breite der jeweiligen Regionen, die Balken in y -Richtung die 95 %-Konfidenzintervalle der Odds Ratios. Die Darstellung entspricht der Darstellung in Abb. 1, lediglich die x -Achsen sind unterschiedlich (Abb. 1: $x = r$ in km , Abb. 2: $x = 1/r$ in km^{-1})

5.1.2 Auswahl der Studiengebiete

Die Studiengebiete wurden auf der Basis von Landkreisen ausgewählt. Landkreise haben jedoch zum Teil sehr unregelmäßige Formen. Dies hat zur Folge, dass in einigen Fällen relativ weit entfernt wohnende Personen Berücksichtigung fanden, während Personen aus dazwischen liegenden Gebieten nicht in die Studie einbezogen werden konnten. Darüber hinaus mussten Großstädte in mittlerer Entfernung ausgespart werden, weil sonst die ohnehin bestehende Unausgewogenheit der Entfernungsverteilung noch ausgeprägter gewesen wäre. Da jedoch Fälle und Kontrollen aus den gleichen Gebieten stammen, ist es unwahrscheinlich, dass hierüber das Ergebnis der Studie verfälscht wird.

5.1.3 Wohnort zum Zeitpunkt der Diagnose

Bei der Entwicklung von Leukämien muss man bei Kindern von Latenzzeiten im Bereich von mehreren Monaten bis mehreren Jahren ausgehen. Wird dann noch berücksichtigt, dass durch Strahlung in Gang gesetzte Leukämien bei sehr jungen Kindern mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits während der Embryonal-/Fetal-Entwicklung ausgelöst werden, dann ist der Wohnort zum Zeitpunkt der Diagnose der Erkrankung wenig aussagekräftig. Wenn man annimmt, dass die Exposition mit Strahlung (oder sonstigen Noxen) während der Schwangerschaft kritisch ist, stellt sich die Frage, ob sich das Umzugsverhalten zwischen Fällen (vor der Diagnose) und Kontrollen unterscheidet oder nicht:

- a) Wenn sich das Umzugsverhalten zwischen Fällen und Kontrollen unterscheidet, wird mit dem gewählten Bezugszeitpunkt der Expositionsbestimmung ein systematischer Fehler (Bias) eingeführt. Wenn beispielsweise (zukünftige) Fälle

häufiger in die Nähe eines Kernkraftwerks gezogen wären, wäre damit das beobachtete Studienergebnis erklärbar.

- b) Wenn sich das Umzugsverhalten nicht unterscheidet, wird mit dem Wohnort beim Diagnosezeitpunkt ein zufälliger Fehler in die Expositionsabschätzung eingeführt. Besteht tatsächlich eine Expositions-Wirkungs-Beziehung, wird damit das Risiko mit großer Wahrscheinlichkeit unterschätzt. Besteht keine Expositions-Wirkungs-Beziehung, dann wird mit großer Wahrscheinlichkeit auch keine falsche Expositions-Wirkungs-Beziehung beobachtet. Es gibt keine Möglichkeit, dies ohne Kenntnis der individuellen Wohngeschichten zu überprüfen. Zumindest bei den Fällen und Kontrollen, die im 2. Studienteil teilgenommen haben, war die Umzugshäufigkeit von ca. einem Drittel der Erkrankungsfälle und Kontrollen sehr ähnlich (Tab.3.7, Teil 2). Ob das auch auf das gesamte Kollektiv des 1. Studienteils zutrifft, muss offen bleiben.

5.1.4 Wohnorte und Aufenthaltsorte

Der Wohnort der Kinder muss nicht ihr Hauptaufenthaltort sein. Auch Kleinkinder verbringen nicht die gesamte Zeit an ihrem Wohnort (sondern auch bei Großeltern, Tagesmüttern, in Kindertagesstätten ...). In diesem Falle würde mit dem Wohnort als Proxy für die Exposition eine Fehlklassifikation eingeführt, mit den unter Punkt 5.1.3 gemachten Implikationen. Um die wahre Expositions-Wirkungs-Beziehung abschätzen zu können, wäre es dann relevant zu wissen, wie stark die Expositionsmissklassifikation ist und ob sie sich zwischen Fällen und Kontrollen systematisch unterscheidet.

5.1.5 Alternative Standorte

In der KiKK-Studie wurden lediglich Kernkraftwerke als Mittelpunkt der Studienregionen gewählt. Es wäre sinnvoll gewesen, Kernkraftwerks-Planungsstandorte oder andere Industriestandorte, wie bereits in der Vergangenheit geschehen, zu überprüfen. Dies war aber nicht Gegenstand des Auftrags an die Autoren der KiKK-Studie.

5.2 Bewertung der Durchführung der KiKK-Studie

Die KiKK-Studie wurde nach den Grundsätzen der guten epidemiologischen Praxis durchgeführt. Die Autoren haben sich dabei streng an die Vorgaben des Auswertepplans gehalten. Sie sind lediglich bei der Berechnung des attributiven Risikos über die Vorgaben des Auswertepplans hinausgegangen. Es wurden von der SSK, wie auch bei der Überprüfung durch Darby und Read, keine Fehler bei der Durchführung entdeckt. Die Ergebnisse wurden vielmehr bestätigt. Letztlich kommt die SSK zu einer ähnlichen Bewertung der Schwächen der KiKK-Studie wie die Autoren der Studie in einer nachfolgenden Veröffentlichung im Deutschen Ärzteblatt.

5.2.1 Untersuchung von Confoundern

In epidemiologischen Studien versteht man unter einem Confounder eine Störgröße, die einen verfälschenden Einfluss auf eine Expositions-Wirkungs-Beziehung ausübt. Damit dies geschieht, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein: Die Störgröße besitzt einen von der Einflussgröße unabhängigen Effekt, und die Störgröße hängt mit der Einflussgröße zusammen. Die epidemiologische Erfahrung zeigt allerdings, dass ein nennenswerter verzerrender Einfluss nur für eine starke Störgröße und einen ausgeprägten Zusammenhang mit der Einflussgröße statistisch nachweisbar ist.

Im Teil 2 der KiKK-Studie wurde versucht, mögliche Confounder, also Störgrößen, die einen Einfluss auf die Leukämieentstehung haben und gleichzeitig mit der Kernkraftwerksnähe assoziiert sein könnten, durch Befragung einer Teilpopulation der Studienteilnehmer zu identifizieren. Aufgrund einer insgesamt unzureichenden Bereitschaft zur Teilnahme an der Befragung, und insbesondere unterschiedlicher Bereitschaft zwischen Fällen und Kontrollen, konnten potentielle Confounder nicht berücksichtigt werden. Es gibt (wie auch in der Studie aufgeführt) zumindest potentiell sehr viele Risikofaktoren für Leukämie im Kindesalter, die als Confounder wirken könnten, wenn sie auch mit Kernkraftwerks-Nähe assoziiert wären. Konkret kommen folgende Faktoren in Frage: Belastung durch Pestizide in der Landwirtschaft, chemische oder mikrobiologische Belastungen durch die Nähe zu Flüssen/Kühltürmen, niederfrequente Magnetfelder, Strahlenexposition der Eltern, sozioökonomische Faktoren sowie soziale Interaktion und die damit verbundene Exposition des Immunsystems (z. B. Zuwanderung und Krippenbesuch von Kleinkindern). Es ist auch zu bedenken, dass die Standorte von Kernkraftwerken bestimmte geografische Gemeinsamkeiten aufweisen, die mit unbekannten oder umwelthygienischen Risiken assoziiert sein könnten. So liegen z. B. alle deutschen Kernkraftwerke an größeren Flüssen.

Keiner der oben erwähnten potentiellen Risikofaktoren gilt jedoch als etabliert, und es ist davon auszugehen, dass derartige Risiken relativ klein sind (relatives Risiko < 2). Es ist daher unwahrscheinlich, dass ein einzelner Faktor, auch wenn er sehr stark mit der Distanz zum Kernkraftwerk korrelieren würde, die Analyseergebnisse erklären kann. Es muss gegenwärtig offen bleiben, ob das Zusammenwirken verschiedener Confounder das Studienergebnis erklären könnte.

5.2.2 Probleme bei der Rekrutierung der Kontrollen

Bei der Kontrollziehung gab es vier Probleme, deren Auswirkungen mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen geprüft wurden:

1. Gemeinden in der Nähe von Kernkraftwerken verweigerten häufiger als andere Gemeinden die Bekanntgabe von Adressen von Kontrollpersonen. Um zu prüfen, ob die Distanz zum Kernkraftwerk für Kontrollen systematisch überschätzt wird, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, bei der alle Fälle und Kontrollen von Gemeinden ausgeschlossen wurden, die keine Kontrolladressen lieferten. Sowohl für Leukämien als auch für alle Tumoren verringerten sich die Abstandskoeffizienten geringfügig (Leukämien $\beta = 1,73$ statt $\beta = 1,75$; alle Tumoren: $\beta = 1,01$ statt $\beta = 1,18$).
2. Nicht alle Gemeinden zogen die Kontrollen aus dem Diagnosejahr des korrespondierenden Falles. In 26 % der Fälle war das Stichdatum abweichend (meistens 31.12. statt Diagnosezeitpunkt). In 5 % der Fälle wurden die Kontrollen nachweislich aus der aktuellen Wohnbevölkerung gezogen und in weiteren 5 % der Fälle war dies vermutlich der Fall. Kontrollziehung aus der aktuellen statt der damaligen Wohnbevölkerung führt zum Ausschluss zwischenzeitlich weggezogener Personen, deren Wegzug möglicherweise mit dem Krankheitsstatus korreliert ist.
3. Korrekte Adressangaben gab es nur für Daten von 1 132 (von 1592) krebserkrankten Personen und den zugeordneten Kontrollpersonen. Eine Analyse dieser Daten ergab einen geringfügig verringerten Abstandskoeffizienten ($\beta = 1,05$ statt $\beta = 1,18$).
4. In Teil 2 ergab sich, dass nur für 230 der 273 am Telefoninterview beteiligten krebserkrankten Personen und den zugeordneten Kontrollpersonen die Wohnadresse im Studiengebiet lag. Unter Berücksichtigung des mittleren Abstands der Wohnorte

im Studienzeitraum ergab sich für Leukämie ein verringerter Abstandskoeffizient ($\beta = 0,33$ statt $\beta = 0,44$).

Insgesamt deuten die Sensitivitätsanalysen auf eine geringere Abstandsabhängigkeit als die Hauptanalyse der Studie hin. Dies wird auch durch eine Berechnung des Leukämierisikos der unter 5-Jährigen in Gebieten näher als 5 km zum nächstgelegenen Kernkraftwerk relativ zum Risiko in Deutschland bestätigt: Das alters-standardisierte relative Risiko ist 1,41 mit einer unteren 95%-Konfidenzgrenze von 0,98.

5.2.3 Bevölkerungsfluktuation

Obwohl im Anhang zum Teil 1 der Studie zahlreiche Grafiken aufgeführt sind, die einen zum Teil erheblichen Zuzug von Personen in die Umgebung der Kernkraftwerke nachweisen, wurden Bevölkerungsfluktuationen nicht berücksichtigt. Hinzu kommt, dass im Rahmen von Revisionsarbeiten regelmäßig eine große Anzahl von Fremden in die Kraftwerksregionen kommt. Gerade ein erheblicher Zuzug von fremden Personen in ein zuvor ziemlich isoliertes Gebiet wird in Großbritannien mit einem Anstieg an Leukämien im Kindesalter in Beziehung gebracht. Dort war die Bevölkerungsdichte der Kernkraftwerks-Regionen allerdings deutlich niedriger als in Deutschland. Falls die Regionen um Kernkraftwerke genügend isoliert sind, um die Voraussetzungen der sogenannten Kinlen-Hypothese zu erfüllen, wäre damit ein erhöhtes Leukämierisiko für Kinder in der Nähe von Kernkraftwerken erklärbar. Die Kinlen-Hypothese besagt, dass für den Fall, dass in eine zuvor sehr isolierte Region ein massiver Zuzug von Personen erfolgt, ein Anstieg von Leukämie-Fällen zu erwarten ist.

5.2.4 Berücksichtigung der gesamten Strahlenexpositionen

In der Studie wurden Strahlenexpositionen natürlichen und zivilisatorischen (einschließlich medizinischen) Ursprungs nicht ermittelt, obwohl sie um Größenordnungen höher sind als die Strahlenexpositionen, die auf Kernkraftwerke zurückgeführt werden können. Auch die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition ist im Untersuchungsgebiet erheblich höher als die Strahlendosen durch Kernkraftwerke. Dies wurde ebenfalls nicht berücksichtigt.

5.3 Bewertung der Ergebnisse der KiKK-Studie

Die Studie liefert Evidenz für eine erhöhte Inzidenz akuter Leukämien bei Kindern, die innerhalb eines 5 km-Radius um Kernkraftwerke leben. Eine unabhängige Überprüfung durch britische Epidemiologen anhand der Originaldaten bestätigte die Ergebnisse der KiKK-Studie.

Es gibt Studien in Deutschland und Großbritannien, die für Kinder ein erhöhtes Leukämierisiko gefunden haben, die in Gegenden lebten, wo Kernkraftwerke geplant, aber niemals gebaut wurden. Dieses Risiko war in Art und Stärke ähnlich wie in der Nähe existierender Kernkraftwerke. Daraus kann man schließen, dass Kernkraftwerke möglicherweise bevorzugt in Gegenden gebaut werden, wo das Risiko für kindliche Leukämien aufgrund anderer, noch nicht verstandener Ursachen erhöht ist.

Die SSK kommt zu dem Schluss, dass dieser Anstieg nicht kausal mit der Radioaktivität im Zusammenhang steht, die von Kernkraftwerken emittiert wird. Obwohl ionisierende Strahlung prinzipiell ein Risiko für die Entstehung von Leukämien darstellen kann, sind die radioaktiven Emissionen aus Kernkraftwerken um mehrere Zehnerpotenzen zu niedrig, um die in der KiKK-Studie beobachteten Risiken erklären zu können.

Einen deutlichen Hinweis darauf, dass tatsächlich ein kausaler Umweltfaktor vorhanden ist, der in Abhängigkeit vom Wohnort der Kinder variiert, findet sich ebenfalls in einer zusätzlichen Auswertung der Daten der KiKK-Studie durch Darby und Read: In ländlichen Regionen war das Leukämierisiko im Vergleich zu städtischen oder gemischten Regionen signifikant auf das 1,85-fache erhöht. Obwohl Kernkraftwerke bevorzugt in ländlichen Regionen gebaut wurden, erklärt das erhöhte kindliche Leukämierisiko auf dem Land nicht das erhöhte Risiko in der Nähe der Kernkraftwerke (siehe Abschnitt Darby-Studie). In jedem Fall ist es wahrscheinlich, dass das Leben auf dem Land nicht für sich genommen ein kausaler Faktor ist, sondern dass das erhöhte Risiko mit bisher unbekannten ursächlichen Faktoren assoziiert ist.

5.4 Bewertung der Interpretationen der KiKK-Studie

5.4.1 Bewertung im Hinblick auf die Exposition

Das BfS hat in einem im Internet veröffentlichten Hintergrundpapier⁷ im Hinblick auf die Exposition festgestellt: *„Die Strahlenbelastung konnte nicht berücksichtigt werden, da es für die über 6 000 Kinder an den entsprechenden Wohnorten weder Messergebnisse gibt, noch eine Modellierung der Strahlenexposition sinnvoll möglich ist. Als Ersatz für die nicht direkt bestimmbare Strahlenexposition wurde der Abstand zwischen Wohnung und Reaktor herangezogen.“*

Die SSK hat im Zusammenhang mit ihrer Stellungnahme zur KiKK-Studie geprüft:

- alle Quellen der Strahlenexposition der Kinder der KiKK-Studie,
- die Emissionsdaten aller Kernkraftwerke über die gesamten Betriebszeiten,
- die Immissionsdaten aus dem Kernreaktorfernüberwachungssystem (KFÜ), der Richtlinie für die Emissions- und Immissionsüberwachung (REI) und des integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS),
- die potentiellen Strahlenexpositionen von Referenzpersonen über die gesamten Betriebszeiten der Kernkraftwerke und
- Krebs- und speziell Leukämierisiken im Kindesalter, die nach niedrigen Strahlenexpositionen *in utero* oder während der Kindheit untersucht wurden.

Die SSK zieht aus dieser Prüfung folgende Schlussfolgerungen:

- Für die Kernkraftwerke der KiKK-Studie liegen für die Studienzeiträume (jeweils Anfangsdatum des Studienzeitraums minus 5 Jahre) die vollständigen Ableitungsdaten mit der Fortluft und dem Abwasser vor. Für die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser sind Berechnungen der Strahlenexpositionen von Referenzpersonen verfügbar.
- Die in den Parlamentsberichten für Referenzpersonen angegebenen Strahlenexpositionen durch kerntechnische Anlagen werden von der SSK als hoch konservativ eingeschätzt und können damit als verlässliche obere Grenzen der Strahlenexpositionen durch Kernkraftwerke angesehen werden.
- Nach Einschätzung der SSK sind die Ermittlungen der Strahlenexpositionen für Referenzpersonen durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken anforderungsgerecht und genügen dem gesetzlichen Auftrag der Berichterstattung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland.

⁷ http://www.bfs.de/de/kerntechnik/kinderkrebs/hintergrund_kikk.pdf

- Die Strahlenexpositionen von Referenzpersonen durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken variieren zwischen den Kernkraftwerksstandorten, aber auch für einzelne Kernkraftwerke für die einzelnen Jahre, um bis zu einem Faktor 100.
- Die Immissionsmessungen der KFÜ, der REI und des IMIS sind in der Lage, auf der Basis geforderter Nachweisgrenzen Strahlenexpositionen von 0,001 mSv pro Jahr nachzuweisen. Die Immissionsdaten geben keine Hinweise auf höhere Expositionen als die für Referenzpersonen durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken berechneten Expositionen.
- Nach Einschätzung der SSK sind die natürlichen Strahlenexpositionen, denen die Menschen der KiKK-Studie ausgesetzt waren, mindestens um den Faktor 1 000 höher als die durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken für Referenzpersonen berechneten Expositionen. Bereits die Unterschiede der terrestrischen Ortsdosisleistung an den verschiedenen Kernkraftwerksstandorten sind um ein Vielfaches höher als die Strahlenexpositionen dieser Referenzperson durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken. Die Variabilität der natürlichen Strahlenexposition, z. B. durch die Bauweise der Häuser, die Radon-Konzentrationen in Wohnungen und individuelle Ernährungsgewohnheiten, ist um Zehnerpotenzen höher als die höchste Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Kernkraftwerken.
- Wenn man unterstellt, dass die geringen, durch die Kernkraftwerke verursachten Strahlenexpositionen für das erhöhte Risiko für Leukämien im Kindesalter verantwortlich sind, müssten rein rechnerisch aufgrund der natürlichen Strahlenexposition Leukämien um mehrere Zehnerpotenzen häufiger auftreten als in Deutschland und andernorts beobachtet.
- Andere mögliche zivilisatorische Zusatzbeiträge zur Strahlenexposition der Kinder der KiKK-Studie, z. B. durch medizinische Untersuchungen, sind ebenfalls (teilweise um Zehnerpotenzen) höher als die Strahlenexposition durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken.

Die Strahlenexposition der Referenzperson durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken ist – trotz ihrer hohen Konservativität – so niedrig, dass die beobachteten erhöhten relativen Risiken für Leukämie in den 5 km-Radien der Kernkraftwerke der KiKK-Studie damit nicht erklärt werden können.

In Bezug auf einen kausalen Zusammenhang zwischen der durch die Kernkraftwerke verursachten Strahlenexposition und dem in den 5 km-Radien um die Kraftwerke beobachteten erhöhten relativen Risiko für Leukämie im Kindesalter sieht die SSK die Bradford Hill-Kriterien (s. Abschnitt B5 des Kapitels 6) als nicht erfüllt an.

5.4.2 Unabhängigkeit der statistischen Analysen

Man muss berücksichtigen, dass etwa zwei Drittel der Daten aus einer alten Analyse stammten (die zudem noch die Grundlage für die Hypothesengenerierung bildeten). Für diese „alten“ Daten war also bereits bekannt, dass in den 5 km-Radien der Kernkraftwerke bei Kindern unter 5 Jahren vermehrt Leukämien beobachtet worden sind. Damit ist die vorliegende KiKK-Studie nur in dem Sinne „unabhängig“, als dass eine andere Methodik bei der Daten-Analyse eingesetzt wurde. Dies hat keine Implikationen für die Studienresultate an sich, jedoch für die Interpretation der Ergebnisse im Gesamtkontext.

5.4.3 Statistisches Testverfahren

In der KiKK-Studie wurde einseitig getestet. Eine einseitige Testung ist dann berechtigt, wenn es sich um eine konfirmatorische Studie handelt. Dann können aber die Daten, die zur Generierung der Hypothese geführt haben, nicht gleichzeitig zur Testung der Hypothese verwendet werden.

Da die Autoren sich jedoch entschlossen haben, die alten Daten in die Analysen mit einzubeziehen, können diese Daten statistisch gesehen nicht als Hypothesen-generierend betrachtet werden, so dass eine zweiseitige Testung adäquat gewesen wäre.

Grundsätzlich wird dadurch aber nichts an der Signifikanz des Ergebnisses geändert. Eine zweiseitige Testung würde zu größeren Konfidenzintervallen und p-Werten führen. Die Autoren verstehen ihre Auswertung allerdings als konfirmatorisch, diese Sicht lässt sich aber wegen der Einbeziehung der „alten“ Fälle nicht aufrechterhalten.

5.4.4 Problematik der stetigen Auswertung und der Verwendung des Attributivrisikos

In der KiKK-Studie wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen Krebserkrankungen im Kindesalter und dem Abstand des Wohnortes vom Kernkraftwerk beobachtet wird. Dabei wird mittels einer Regressionsanalyse versucht, die Daten mit der stetigen Funktion $1/\text{Abstand}$ anzupassen. Der Vorteil der stetigen Funktion ist die Erhöhung der statistischen Aussagekraft (Power). Dem stehen mehrere Probleme gegenüber. Zum einen ist die Qualität der Modellanpassung zu berücksichtigen. Bei schlechter Übereinstimmung zwischen stetiger Funktion und beobachteten Daten wird das Gesamtergebnis möglicherweise von einem Teil der Daten getrieben. Ein weiteres Problem ist die Festlegung des Gültigkeitsbereichs des Modells. Hierfür braucht man zusätzliche Kriterien, denn es ist sicherlich nicht sinnvoll, den Zusammenhang in beliebig großem Abstand zu analysieren. Zusätzlich ergibt die Wahl der Funktion $1/\text{Abstand}$ eine starke Gewichtung der Erkrankungszahlen für geringere Abstände.

In der KiKK-Studie wurde neben der Analyse des Zusammenhangs des Abstandes zum Kernkraftwerk und der Erkrankungswahrscheinlichkeit das Attributivrisiko berechnet. Die Berechnung des Attributivrisikos, also die Umrechnung des relativen Risikos auf die betroffene Bevölkerungsgruppe, ist formal möglich. Sie sollte aber nur erfolgen, wenn der kausale Zusammenhang zwischen Exposition und Wirkung gut abgesichert ist. Ist das nicht der Fall, dann kann das Attributivrisiko Auswirkungen einer unsicheren Exposition auf eine Bevölkerungsgruppe suggerieren, deren wissenschaftliche Grundlage nicht ausreichend abgesichert ist. Entsprechende Ausführungen sind im wissenschaftlichen Anhang zu finden.

Darüber hinaus hat die kategorielle Auswertung gezeigt, dass eine Risikoerhöhung nur innerhalb des 5 km-Radius vorliegt (vgl. Kap. 4). Somit ist es auch nicht zulässig, auf der Basis einer stetigen Funktion für größere Abstände jenseits von 5 km fiktive Erkrankungszahlen zu berechnen und als Attributivrisiko auszudrücken.

Generell erscheint es angemessener, den Zusammenhang mit dem Abstand kategoriell zu betrachten und die $1/\text{Abstand}$ -Berechnungen stark zu relativieren. Die Berechnung des Attributivrisikos sollte auf Kategorien beschränkt werden, die ein tatsächlich erhöhtes relatives Risiko zeigen.

6 Der Beratungsauftrag

Vom Bundesumweltministerium wurde der SSK ein umfangreicher Fragenkatalog zum Studienkonzept und zur Kausalität des in der KiKK-Studie ermittelten Ergebnisses vorgelegt.

Im Folgenden werden die Fragen des Beratungsauftrages beantwortet. (Hinweise: Die Fragen, die im Beratungsauftrag des BMU aufgeführt sind, sind kursiv dargestellt. Unvermeidlich kommt es zu gewissen Wiederholungen einiger Aspekte, die bereits in den Kapiteln 5.1 bis 5.4 dargestellt worden sind.)

A. Studienkonzept

A1 *Entsprechen Datengewinnung, Datenhaltung, Datenqualität den Vorgaben der guten epidemiologischen Praxis?*

Die Durchführung der Studie entspricht den Vorgaben der guten epidemiologischen Praxis. Dies wurde im Rahmen zweier Audits geprüft und bestätigt. Darüber hinaus erfolgte eine unabhängige Überprüfung zwischen dem 23. und 27. Juni 2008 durch Sarah Darby und Simon Read in Mainz. Bei dieser Überprüfung war ein vollständiger Zugriff auf alle Rohdaten gewährleistet. Aussagen zur Qualität dieser Rohdaten waren nicht Gegenstand der Prüfung. Der Abschlussbericht dieser Überprüfung ist Bestandteil des wissenschaftlichen Anhangs der vorliegenden Stellungnahme der SSK.

A2 *Wurden die Fälle und Kontrollen adäquat ermittelt oder gab es statistische Verzerrungen dieser Daten?*

Es wurden alle Kinder unter 5 Jahren, die zwischen 1980 und 2003 beim Deutschen Kinderkrebsregister Mainz als erkrankt gemeldet waren und zum Zeitpunkt der Diagnose in der Studienregion gelebt haben, in der Studie berücksichtigt. Das Deutsche Kinderkrebsregister Mainz hat eine lange Tradition und weist eine hohe Vollständigkeit auf (mehr als 95 % Erfassung der Leukämieerkrankungen). Von 1633 Fällen mussten nur 41 Fälle wegen nachvollziehbarer Kriterien von der Analyse ausgeschlossen werden. Abgesehen davon ist durch die Fallrekrutierung keine Verfälschung des Studienresultates zu erwarten.

Die Kontrollen wurden mittels eines „two stage random sampling“ identifiziert. Im ersten Schritt wurde die Wohnortgemeinde einer Kontrolle zufällig ausgewählt, indem die Gemeinden entsprechend ihrem Bevölkerungsanteil (zum Zeitpunkt der Diagnose des korrespondierenden Falles) je Alter/Geschlecht/Jahr gewichtet wurden. Im zweiten Schritt wurde dann innerhalb der Gemeinde eine Kontrolladresse angefragt. Als Datenbasis für die Kontrollziehung mussten die Gemeinden die Bevölkerung zum Zeitpunkt der Diagnose des korrespondierenden Falles berücksichtigen. Die beiden Schritte wurden sechsmal durchgeführt, um für jedes Fallkind im Idealfall sechs Kontrollen zu generieren. Grundsätzlich ist das methodische Vorgehen korrekt.

Es traten die folgenden Probleme auf: (i) Gemeinden in der Nähe von Kernkraftwerken verweigerten häufiger als andere Gemeinden die Bekanntgabe von Adressen von Kontrollpersonen. (ii) Nicht alle Gemeinden zogen die Kontrollen aus dem Diagnosejahr des korrespondierenden Falles. (iii) Für eine größere Anzahl von Kontrollpersonen (bzw. von erkrankten Personen, denen sie zugeordnet waren) waren die Adressangaben nicht korrekt. (iv) Ein Teil der Kontrollpersonen (bzw. der erkrankten Personen, denen sie zugeordnet waren) hätte nicht in die Studie eingeschlossen werden dürfen, da sie zum Stichzeitpunkt nicht im Studiengebiet wohnten. Entsprechende Sensitivitätsanalysen ergaben für die einzelnen Faktoren (teilweise nur geringfügig) kleinere Risiko-

koeffizienten. Obwohl der Gesamteinfluss dieser Faktoren nicht abgeschätzt werden konnte, geht die SSK davon aus, dass das Risiko innerhalb des 5 km-Radius unabhängig von diesen Störfaktoren signifikant erhöht ist.

A2.1 Waren die angewandten statistischen Methoden adäquat?

Die Daten wurden mittels konditionaler logistischer Regression modelliert. Das entspricht dem Standardverfahren für eine „matched“ Fall-Kontrollstudie. Es wurde a priori definiert, eine Analyse mit kontinuierlichen Abstandsdaten (1/Abstand) durchzuführen und eine Analyse mit Abstandskategorien. Die Kategorien wurden vor dem Start der Analyse definiert (5 km-Radius). Alle wichtigen Analysen wurden von einem zusätzlichen Statistiker vom Koordinierungszentrum für klinische Studien (KKS) Mainz repliziert.

Üblicherweise werden in der Epidemiologie die (zweiseitigen) 95 %-Häufigkeitsintervalle ausgewiesen. Zu diskutieren ist die einseitige Hypothesentestung, d.h. die Berechnung eines einseitigen 95 %-Konfidenzintervalls. In Anbetracht der Vorgeschichte der Studie ist die einseitige Hypothesentestung zwar vertretbar, konsequenterweise hätten dann aber auch die alten Fälle, die vor Beginn der späteren Studie bekannt waren, ausgeschlossen werden müssen. Wenn man aber die alten Daten einbezieht, wäre ein zweiseitiger Test angemessener.

Insgesamt sind die statistischen Analysen solide und korrekt durchgeführt worden. Es gibt keine Hinweise auf undeklarierte post-hoc-Analysen mit dem Zweck, statistische Signifikanzen zu kreieren, beispielsweise, indem die Definition der Abstandskategorien der beobachteten Fallverteilung angepasst wurde.

A2.2 Ist das Studiendesign adäquat, insbesondere die 1/r-Abhängigkeit?

Die 1/r-Abhängigkeit beschreibt den Abstand zum Kernkraftwerk, als Proxy für die Strahlenexposition ist sie nicht geeignet (siehe A 4.2). Aufgrund der gegebenen Datenverteilung lassen sich keine robusten Aussagen über die Abstandsabhängigkeit außerhalb des 5 km-Radius machen.

Dies wird bestätigt durch die Auswertung von Sarah Darby und Simon Read, die klar zeigt, dass sich die gefundene Assoziation auf den 5 km-Radius um die Kernkraftwerksstandorte beschränkt (s. Tab. 2 in Kap. 2.4 und Kap. 4).

Daher sollten sich alle Aussagen auf die Ergebnisse der kategoriellen Analyse beschränken. Insbesondere ist es irreführend, wenn die 1/r-Abhängigkeit verwendet wird, um außerhalb des 5 km-Radius Attributivrisiken und die Anzahl erkrankter Kinder zu berechnen, die den Kernkraftwerken zugeordnet werden. Wie im wissenschaftlichen Anhang ausführlich diskutiert, ergeben sich daraus hypothetische Erkrankungszahlen, die allein aus mathematischen Gründen um so größer werden, je weiter man sich von den Kernkraftwerksstandorten entfernt, ohne etwas über reale Risiken auszusagen.

A3 Wie weit ist die Wohnhistorie der Betroffenen berücksichtigt, ggf. welchen Einfluss hat sie, d.h. wie lange haben die Kinder bzw. ihre Eltern vor der Erkrankung am Wohnort bzw. in der Region (Landkreis) gelebt?

Der Abstand der Wohnorte der Fall- und Kontrollfamilien vom nächsten Kernkraftwerk wurde mit großem Aufwand und großer Sorgfalt erhoben. Allerdings wurde in der Hauptstudie jeweils nur der Wohnort zum Zeitpunkt der Diagnose der Erkrankung bestimmt. Eine Exposition zum Zeitpunkt der Diagnose einer Krebserkrankung kann jedoch nicht die Ursache für die Krebserkrankung sein. Vielmehr liegt in der Regel zwischen einer verursachenden Exposition und der Diagnose einer Krebserkrankung ein

längerer Zeitraum (Latenzzeit). Deshalb wäre für eine Analyse eines möglichen Zusammenhangs mit dem Abstand eines möglichen Expositionsorts (= Wohnort) vom nächsten Kernkraftwerk und einer Krebserkrankung die Erhebung der Wohnhistorie vom Beginn der Schwangerschaft bis zur Diagnose der Erkrankung nötig gewesen.

Bei der Auswertung der Wohnhistorie im zweiten Teil der Studie wurden Wohnorte außerhalb des Studiengebietes nicht berücksichtigt. Es zeigte sich, dass zirka ein Drittel der Fall- und auch der Kontrollfamilien im Zeitraum zwischen Beginn der Schwangerschaft und Diagnose der Krebserkrankung umgezogen ist.

Insgesamt kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine Vernachlässigung der Wohnhistorie, d.h. insbesondere der Latenzzeit zwischen dem Zeitpunkt einer möglichen Exposition und dem Diagnosezeitpunkt, zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt hat.

A4 *Wie hoch war die Strahlenbelastung der Betroffenen einschließlich der natürlichen Strahlenbelastung?*

Ausführlich ist diese Frage in Kap. 5.4.1 beantwortet worden. Die nachstehende Tabelle (Tab. 3) fasst die verschiedenen möglichen Beiträge zur individuellen Strahlenexposition der Betroffenen zusammen.

Bei einer Betrachtung des Strahlenrisikos ist stets die gesamte natürliche und anthropogene Strahlenexposition der Betroffenen zu berücksichtigen. Die zusätzliche Strahlenexposition durch Kernkraftwerke ist um mindestens den Faktor 1 000 geringer als die natürliche Strahlenexposition. Sie ist ebenfalls um Größenordnungen geringer als die Variabilität der natürlichen Strahlenexposition an den verschiedenen Kraftwerksstandorten. Auch die sonstigen anthropogenen Expositionen sind in einer solchen Betrachtung zu berücksichtigen.

A4.1 *Sind mögliche individuelle Risiken für die Kinder in die Studie einbezogen worden (z. B. vermehrt Untersuchungen mit radioaktiven Stoffen oder ionisierenden Strahlen, Strahlentherapie)?*

In die Ergebnisse des Teils 1 der Studie sind solche individuellen Risiken nicht einbezogen worden. Es war vorgesehen, dies mit Hilfe des Teils 2 der Studie durchzuführen. Dies konnte jedoch wegen der unterschiedlichen Teilnahme der befragten Eltern von Fällen und Kontrollen an der Fragebogenaktion nicht umgesetzt werden.

A4.2 *Kann aus dem Abstand auf die Dosis geschlossen werden?*

Nein, es kann nicht aus dem Abstand auf die Dosis geschlossen werden. Im Studienzeitraum variieren die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft an den einzelnen Kernkraftwerksstandorten und auch als Funktion der Zeit für die einzelnen Kernkraftwerke um mehr als den Faktor 100.

Die gesamte Strahlenexposition der Kinder der KiKK-Studie wird durch die hoch variablen natürlichen Strahlenexpositionen so dominiert, dass eine signifikante Abhängigkeit der gesamten Strahlenexposition vom Abstand zum nächstgelegenen Kernkraftwerk auszuschließen ist. Auch potentielle zivilisatorische Strahlenexpositionen, die ebenfalls wesentlich höher sein können als die durch die Kernkraftwerke bewirkten Strahlenexpositionen, lassen keine Abstandsabhängigkeit von den Kernkraftwerken erwarten.

Das größte Problem liegt darin, dass die unterschiedlichen Emissionen der Kernkraftwerke gar nicht abgebildet werden. Damit erhält der Proxy Unsicherheiten für verschiedene Kraftwerke und unterschiedliche Jahre von mehreren Zehnerpotenzen. Wenn es jedoch um die Abnahme der Immission mit dem Abstand geht, ist dieser Punkt unerheblich, denn

wenn für jedes einzelne Kernkraftwerk die Immission mit dem Abstand abnimmt, gilt dies auch für alle Kernkraftwerke zusammengenommen. Allerdings wären dann nicht die absoluten kraftwerksbedingten Expositionen als mögliche Verursachung der Erkrankungen zu betrachten, sondern lediglich die Unterschiede der Expositionen von Fällen zu Kontrollen aufgrund des Abstandsunterschiedes zu den Kernkraftwerken. Diese Expositionen sind naturgemäß noch wesentlich geringer als die absoluten Expositionen.

Tab. 3: Mögliche Beiträge zur individuellen Strahlenexposition der Bevölkerung

Exposition	Effektive Dosis oder -bereich	Betroffene
Natürliche Strahlenexposition	2,1 mSv pro Jahr (95 %-Häufigkeitsbereich 1,2 mSv - 4,6 mSv pro Jahr)	alle
Kernwaffenversuche ^{*)}	1963: 0,15 mSv pro Jahr 2000: 0,005 mSv pro Jahr	
Tschernobyl in Deutschland ^{**)}	Mittelwert ganz Deutschland: 1986: 0,11 mSv pro Jahr 1990: 0,025 mSv pro Jahr Seit 2000: < 0,02 mSv pro Jahr	
Medizinische diagnostische Strahlenexposition, Bevölkerungsmittel in Deutschland	1972: 0,5 mSv pro Jahr 2006: 1,9 mSv pro Jahr	Hypothetische „mittlere“ Person
Medizinische diagnostische Strahlenexposition	0,01 mSv – 20 mSv pro Anwendung	Nur Betroffene
Exposition durch nahe Verwandte nach Nuklearmedizin	< 1 mSv pro Jahr	
Flugreisen	0,006 mSv pro h (Nordatlantik-Route)	
Maximale Strahlenexposition für alle Altersgruppen an den ungünstigsten Einwirkungsstellen in der Umgebung von Kernkraftwerken	< 0,01 mSv pro Jahr (globale Aussage in den Parlamentsberichten) individuelle KKW der KiKK-Studie in verschiedenen Jahren: < 0,0001 mSv – 0,02 mSv pro Jahr	Hypothetische Referenzpersonen
Reale Exposition der Referenzperson in der Umgebung von Kernkraftwerken durch Ableitungen	<<< 0,01 mSv pro Jahr	Nur Betroffene

^{*)} effektive Dosis integriert über 50 Jahre: 1,2 mSv

^{**)} effektive Dosis (seit 1986) integriert über 50 Jahre: 0,5 mSv – 2,2 mSv

A4.3 Gibt es Unsicherheiten bei der Ermittlung der Dosis für die Kinder?

Es wurden in der KiKK-Studie keine Strahlendosen für Kinder ermittelt. Es wurden weder potentielle Expositionen abgefragt, noch wurde der Versuch unternommen, die verschiedenen Beiträge zur Strahlenexposition der Kinder oder ihrer Eltern zu erfassen.

A5 *Ist eine ähnliche abstandskorrelierte Krebs- bzw. Leukämierate auch bei anderen Industrieanlagen ggf. auch im Ausland bekannt bzw. gefunden worden und wissenschaftlich belegt?*

Es gibt abstandskorrelierte Krebs- bzw. Leukämieraten auch bei anderen Industrieanlagen. So berichten beispielsweise Knox und Gilman über erhöhte Risiken im Umkreis von Standorten verschiedener Industrien (u.a. Öl-Raffinerien, Autofabriken, Autoreparaturwerkstätten, Lösungsmittelhersteller). Darüber hinaus gibt es ökologische Studien, die zeigen, dass in der Nähe von Planungsstandorten für Kernkraftwerke ebenfalls eine erhöhte Zahl von Leukämien im Kindesalter gefunden wird (s. die folgende Antwort zu Frage A5.1).

A5.1 *Ist bei den nicht untersuchten Kernkraftwerksstandorten bzw. geplanten Kernkraftwerksstandorten mit entsprechenden Ergebnissen zu rechnen?*

Diese Frage ist ohne eine tatsächlich durchgeführte Analyse nicht zu beantworten. In der Vergangenheit haben allerdings (ökologische) Studien gezeigt, dass Leukämie- (und sonstige Krebs-) Häufigkeiten in der Umgebung von lediglich geplanten Kernkraftwerksstandorten ganz ähnlich waren wie in der Umgebung von in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken.

Wie in Kapitel 3.2 genauer dargelegt, wurde im Jahr 2007 eine Meta-Analyse von Baker et al. zu kindlichen Leukämien und der Nähe zu Kernkraftwerken publiziert. Dort wird eine Reihe von Studien zitiert, die keine Veränderungen der Leukämieraten fanden, wenn Kernkraftwerke in Betrieb gingen oder abgeschaltet wurden. Andere Studien fanden in Planungsregionen von Kernkraftwerken erhöhte Risiken. Es wurde daher spekuliert, dass es eine andere Exposition als die ionisierende Strahlung ist, die für die beobachteten erhöhten Risiken verantwortlich ist. Ein solcher Faktor wurde bisher nicht identifiziert. Ebenfalls diskutiert wurde die Möglichkeit des „Population mixing“, das mit einer Veränderung der Konzentration und/oder dem Auftreten von Krankheitserregern verbunden sein könnte; ein entsprechender Erreger (Virus, Bakterium) konnte aber bisher nicht identifiziert werden.

A6 *Können die Ergebnisse auf Erwachsene übertragen werden?*

Da viel dafür spricht, dass die Ätiologie bei Kindern und Erwachsenen unterschiedlich ist, ist grundsätzlich nicht bekannt, ob aus dem vermehrten Auftreten von Leukämien bei Kindern unterhalb von 5 Jahren im 5 km-Radius auf ein erhöhtes Risiko für Erwachsene geschlossen werden kann. Somit kann die Frage nicht beantwortet werden, ob sich die Ergebnisse auf Erwachsene übertragen lassen.

Einen Hinweis, dass es zumindest unwahrscheinlich ist, dass für Erwachsene ein ähnliches Ergebnis beobachtet wird, liefern die (ökologischen) Studien, die für die 5- bis 15-Jährigen bisher kein erhöhtes Leukämie-Risiko gefunden haben. Ebenso hat die Norddeutsche Lymphomstudie keinen Hinweis erbracht, dass Erwachsene durch Emissionen von Kernkraftwerken betroffen sein könnten.

Norddeutsche Leukämie- und Lymphomstudie

Die Norddeutsche Leukämie- und Lymphomstudie (NLL) ist eine bevölkerungsbezogene Fall-Kontrollstudie zu Ursachen und Risikofaktoren von inzidenten Leukämien, malignen Lymphomen und verwandten Erkrankungen in den Jahrgängen 1986 – 1998 in sechs Landkreisen in Schleswig-Holstein und Niedersachsen. Eine Haupthypothese betrifft Expositionen gegenüber radioaktiven Emissionen aus Nuklearanlagen im Normalbetrieb.

Die lebenslange Expositionsermittlung innerhalb der NLL basierte auf standardisierten, persönlichen, computergestützten Interviews mit 71,5 % der Fälle (N=1430) und 54,5 % (N=3041) der Kontrollen.

In die Analysen wurden alle relevanten Quellen der Strahlenexposition für die Allgemeinbevölkerung aufgenommen. Zur Quantifizierung der Exposition gegenüber Emissionen aus Nuklearanlagen im Normalbetrieb wurde das im Rahmen der Kernreaktorfernüberwachung verwendete Ausbreitungsmodell (AVV zu §45 StrlSchV) für quantitative Berechnungen der Ingestionsdosis für verschiedene Nahrungsmittelgruppen (Blattgemüse, sonstige pflanzliche Produkte, Fleisch und Milch) sowie die Summe aus Inhalation und externer Strahlung auf die lebenslangen Wohn- und Arbeitsorte der NLL-Probanden angewendet.

Es wurden für keine der untersuchten Krankheitsentitäten systematisch erhöhte Risiken durch die Exposition von Radionukliden aus Emissionen von Nuklearanlagen im Normalbetrieb festgestellt.

Bemerkenswert ist, dass die NLL durchgeführt wurde, weil eine Inzidenzstudie zu Leukämien, Lymphomen und Myelomen im 5 km-Radius um die Nuklearanlagen von Geesthacht (Krümmel und GKSS) eine signifikant erhöhte Leukämierate gezeigt hatte. Die NLL fand für die gleiche Patientengruppe in derselben Region kein erhöhtes Risiko, wobei jetzt die individuellen Risiken der Patienten ebenso wie die einer Kontrollgruppe erfasst wurden und eine bessere Quantifizierung der Exposition mittels AVV-basierter Expositionsvariablen durchgeführt wurde.

Im Prinzip hätte die bei der NLL gewählte Expositionsquantifizierung mittels AVV-Ausbreitungsmodell auch für die KiKK-Studie zur Verfügung gestanden.

B. Kausalität

B1 Gibt es strahlenbiologische Erkenntnisse, die die Ergebnisse plausibel erklären können?

Erkenntnisse, wie es zur Leukämie-Entstehung bei Kindern kommt

Leukämien im Kindesalter stellen keine einheitliche Erkrankung dar. Vielmehr findet man zahlreiche Untergruppen, die durch unterschiedliche Gen-Expression, Antigene, chromosomale und molekulare Abnormitäten charakterisiert sind. Es gibt starke Hinweise, dass für das Auftreten der Leukämien im Kindesalter mehr als ein Ereignis eintreten muss. Einer gängigen Vorstellung gemäß werden zunächst genetische Veränderungen während der Fetalentwicklung induziert (z. B. Fusion des *TEL*-Gens auf Chromosom 12 und des *AML1*-Gens auf Chromosom 21 vermutlich wegen fehlerhafter Reparatur von DNA-Doppelstrangbrüchen). Während der Kindheit kann dann in Folge weiterer genetischer Veränderungen die Leukämie zum Ausbruch kommen. In beiden Schritten können Infektionen, Chemikalien, ionisierende Strahlung oder andere, bisher unbekannte Umweltfaktoren, eine Rolle spielen.

Implausibilität eines ursächlichen Zusammenhangs

Wie im Abschnitt ‚Gegenwärtiger Kenntnisstand‘ (Kap. 3.4) erläutert, wäre für die Begründung von relativen Risiken, wie sie in der KiKK-Studie berichtet werden, ein Dosisunterschied ionisierender Strahlung innerhalb und außerhalb des 5 km-Radius um Kernkraftwerke von mindestens 10 mGy notwendig. Real durch Emissionen von Kernkraftwerken auftretende Strahlenexpositionen sind jedoch um wenigstens den Faktor 1 000 niedriger (siehe Tab. 3 in A4). Damit ist es strahlenbiologisch nicht plausibel, die Ergebnisse der KiKK-Studie durch die von Kernkraftwerken abgegebene ionisierende

Strahlung zu erklären. Aus strahlenbiologischer Sicht müssen andere Faktoren als die ionisierende Strahlung die Erklärung für das Ergebnis der KiKK-Studie liefern.

B2 Welche Erkenntnisgrenzen gibt es bzgl. der Übertragbarkeit der unter Punkt B1 genannten strahlenbiologischen Erkenntnisse auf Kleinkinder?

Dass Kleinkinder ein höheres Strahlenrisiko aufweisen als Erwachsene, ist bekannt. Aber unter Punkt B1 wurde festgestellt, dass auch auf der Basis der strahlenbiologischen Erkenntnisse für Kleinkinder eine ursächliche Rolle ionisierender Strahlung zur Erklärung der Ergebnisse der KiKK-Studie nicht plausibel ist. Es muss also nicht auf der Basis der Daten für Erwachsene oder ältere Kinder auf das Strahlenrisiko für Kleinkinder geschlossen werden. So ergab eine Analyse der OSCC-Daten, dass sich das nach Strahlenexposition *in utero* für unter 5-Jährige beobachtete Krebsrisiko nicht wesentlich vom Risiko während der gesamten Kindheit unterscheidet. Andere Studien, in denen diese beiden Altersgruppen getrennt analysiert wurden, sind mit diesem Ergebnis konsistent.

Eine Besonderheit bei Kleinkindern ist, dass einige Erbkrankheiten mit einem deutlich erhöhten Risiko verbunden sind, eine kindliche Leukämie zu entwickeln (z. B. Down Syndrom, Fanconi Anämie, Ataxia teleangiectatica). Unter diesen Erbkrankheiten gibt es solche, die auch eine erhöhte Strahlenempfindlichkeit mit sich bringen (z. B. Ataxia teleangiectatica), so dass hier damit zu rechnen ist, dass die ohnehin schon erhöhte Strahlenempfindlichkeit von Kleinkindern weiter erhöht wird. Es gibt keine Erkenntnisse, ob es Subpopulationen bei Kleinkindern gibt, die von keiner Erbkrankheit betroffen sind, aber dennoch eine deutlich erhöhte Strahlenempfindlichkeit aufweisen. Sollte es solche Subpopulationen geben, so könnten sie allerdings auch nicht das Ergebnis der KiKK-Studie erklären, da dann eine Leukämie-Auslösung durch die natürliche Strahlenexposition sehr viel wahrscheinlicher wäre als diejenige durch die Kernkraftwerks-Emissionen.

B3 Gibt es andere Faktoren, die die gefundene Leukämierate erklären?

Es sind zahlreiche Faktoren benannt worden, die im Verdacht stehen, Leukämien im Kindesalter auszulösen bzw. zumindest an der Auslösung beteiligt zu sein. Allerdings gibt es außer der ionisierenden Strahlung nahezu keinen Faktor, der unumstritten wäre. Es spricht viel dafür, dass es sich bei der Leukämieentstehung um ein multifaktorielles Geschehen handelt, wobei der Beitrag der einzelnen Faktoren jeweils so gering ist, dass er nicht nachgewiesen werden kann. Diskutiert werden neben ionisierender Strahlung eine Vielzahl von Chemikalien, Infektionen, magnetische Felder, Sozialstatus, Geburtscharakteristika (Geburtsgewicht, Geburtsrangfolge, Stillen) und weitere.

B4 Kann aus den Ergebnissen dieser Studie durch Anwendung von Kausalitätskriterien z. B. nach Bradford Hill eine Kausalität abgeleitet werden?

Sir Austin Bradford Hill hat 1965 neun verschiedene Kriterien publiziert, um die Kausalität von epidemiologischen Assoziationen zu beurteilen. Das Kriterium Zeitlichkeit muss für das Vorliegen einer Kausalität erfüllt sein, alle anderen Kriterien müssen nicht notwendigerweise zutreffen. Im Folgenden sind die neun Kriterien im Hinblick auf die KiKK-Studie diskutiert, bei einigen Kriterien und bei der Gesamtbewertung wird zwischen der Abstandsabhängigkeit und einer Abhängigkeit von durch Kernkraftwerke bedingten Strahlenexpositionen differenziert.

- a) **Konsistenz/Folgerichtigkeit:** Dieses Kriterium verlangt, dass unter verschiedenen Untersuchungsansätzen durch verschiedene Wissenschaftler vergleichbare Ergebnisse erzielt worden sind. **Bewertung:** Erhöhte Krebsrisiken um

Kernkraftwerke wurden auch in einigen anderen früheren Studien beobachtet. Die Ergebnisse sind aber nicht konsistent. Es ist einerseits unklar, wie stark die Ergebnisse durch Publikationsbias beeinflusst sind. Andererseits wurden einige Studien initiiert, nachdem auffällig viele Erkrankungen in einem Gebiet festgestellt wurden. Neuere Studien in Frankreich und in Großbritannien ergaben keine Abstandsabhängigkeit des Kinderkrebs- bzw. Leukämierisikos im Kindesalter vom Abstand zum nächstgelegenen Kernkraftwerk. Insgesamt ergeben die im Ausland durchgeführten Studien, wenn überhaupt, dann nur eine geringe Evidenz für eine Erhöhung des Kinderkrebs- oder Leukämierisikos im Alter von bis zu 5 Jahren in der Umgebung von Kernkraftwerken (bis 5 km). Ein direkter Bezug zu durch Kernkraftwerke bedingten Strahlenexpositionen wurde nur in der neuen französischen Studie untersucht. Es ergab sich kein Zusammenhang mit der Krebs- und Leukämieerkrankungshäufigkeit unter Kindern.

- b) **Stärke der Assoziation:** Eine Assoziation ist stark, wenn sie nach Berücksichtigung aller potentiellen Verzerrungsmöglichkeiten mit geringer Irrtumswahrscheinlichkeit nachgewiesen werden kann. **Bewertung:** Für Kinderleukämien wurde eine Verdoppelung des Risikos innerhalb des 5 km-Radius gefunden (OR=2,19, untere Konfidenzgrenze: 1,51), für alle Krebsfälle eine Erhöhung um 60 Prozent (OR=1,61, untere Konfidenzgrenze: 1,26). Die Ergebnisse sind signifikant. Angesichts der Unsicherheiten, ob durch Datenunvollständigkeit und andere Störfaktoren Verzerrungen vorliegen, ist die Stärke der Assoziation jedoch deutlich zu relativieren. Zwar ergaben die für einzelne Faktoren durchgeführten Sensitivitätsbetrachtungen nur geringe Beeinflussungen der Ergebnisse. Alle wesentlichen Sensitivitätsanalysen zeigten aber eine Verringerung des Effektes. Die Gesamtwirkung aller Störfaktoren lässt sich nicht abschätzen. Insgesamt überwiegt aber die Evidenz für einen statistischen Zusammenhang zwischen der Nähe der Wohnung zu den in der Studie untersuchten Kernkraftwerken und dem Risiko eines Kindes, vor seinem fünften Geburtstag an Krebs, insbesondere Leukämie, zu erkranken. Die Studie ist nicht geeignet, einen Zusammenhang mit der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke herzustellen.
- c) **Dosis-Wirkungs-Beziehung/biologischer Gradient:** Von einem biologischen Gradienten kann gesprochen werden, wenn mit steigender Exposition bzw. steigender Gesamtdosis die Effektstärke in vergleichbarer Weise zunimmt. **Bewertung:** Statistisch zeigt sich eine klare Dosis-Wirkungs-Beziehung, wenn man das Modell der Linearität mit 1/Abstand zugrunde legt. In der Analyse der Abstandskategorien ist allerdings nur ein erhöhtes Risiko im 5 km-Radius erkennbar. In Bezug auf die Exposition durch ionisierende Strahlung ist die Dosis-Wirkungs-Beziehung nicht beurteilbar, da eine Korrelation der gesamten Strahlenexposition mit dem Abstandsmaß nicht zu erwarten ist. Aufgrund des sehr kleinen Beitrages der Kernkraftwerks-Emissionen an der Gesamtstrahlenexposition ist eine diesbezügliche Dosis-Wirkungs-Beziehung sehr unwahrscheinlich.
- d) **Zeitlichkeit:** Hierunter versteht man, dass die zeitliche Abfolge (erst Exposition, danach Wirkung) gegeben ist. **Bewertung:** Bei den Analysen wurden der Betriebsstart und gegebenenfalls die Betriebseinstellung der Anlagen berücksichtigt. Man hat allerdings als Expositionsvariable den Abstand des Wohnorts zum nächsten Kernkraftwerk zum Zeitpunkt der Diagnose und nicht zum Zeitpunkt bei Entstehung bzw. Entwicklung der Krankheit gewählt. Gemäß den Daten aus Studienteil 2 ist ungefähr ein Drittel der Patienten- und Kontrollfamilien seit der Konzeption mindestens einmal umgezogen. Um die Zeitlichkeit der Ätiologie

adäquat zu berücksichtigen und um potentielle kritische zeitliche Expositionsfenster identifizieren zu können, hätte man für diese Studienteilnehmer die Wohnorte bis zur Konzeption rekonstruieren müssen.

- e) **Biologische Plausibilität/Kohärenz:** Die Befunde sollten nicht im Gegensatz zu biologischen bzw. pathophysiologischen Befunden stehen. **Bewertung:** Es sind keine Faktoren bekannt, die mit dem Abstand zu Kernkraftwerken korrelieren und ein so hohes Risiko verursachen können, wie es in der KiKK-Studie berichtet wurde. Es ist zwar unstrittig, dass ionisierende Strahlung zu Krebs und insbesondere Leukämien führen kann. Allerdings verursachen Kernkraftwerke nur eine sehr geringe zusätzliche Exposition durch ionisierende Strahlung im Vergleich zur natürlichen Hintergrundstrahlung. In Bezug auf die gängigen Dosis-Wirkungs-Modelle sind die gefundenen Risikoerhöhungen nicht begründbar.
- f) **Spezifität:** Wird ein Zusammenhang zwischen einer spezifischen Exposition und ganz bestimmten, typischen Krankheitserscheinungen gefunden, dann spricht dies für Kausalität. **Bewertung:** Spezifität ist in diesem Fall nicht zu erwarten. Krebserkrankungen sind durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst und könnten also auch durch andere Faktoren erklärt werden.
- g) **Experiment/Tierversuche:** Die vermuteten Beziehungen sollten im Experiment oder Tiermodell reproduzierbar sein. **Bewertung:** Es wurden keine Experimente oder Tierversuche zur Abhängigkeit von Strahleneffekten vom Abstand zum nächsten Kernkraftwerk durchgeführt. Zwar sind im Tiermodell vergleichbare Erkrankungen (dort allerdings in erster Linie solide Tumoren, da die zur Verfügung stehenden Tiermodelle für eine Leukämie-Entstehung erhebliche Limitationen aufweisen) durch ionisierende Strahlen induzierbar. Für so niedrige Dosen, wie sie in der Bevölkerung durch die Emissionen der deutschen Kernkraftwerke bewirkt werden konnten, sind jedoch keine experimentellen Daten bekannt, die Effekte zeigen.
- h) **Fehlen plausibler Alternativ-Erklärungen:** Es stärkt die Kausalität, wenn alternative Erklärungen für gefundene Assoziationen fehlen. **Bewertung:** Der Abstand zum nächsten Kernkraftwerk steht nur stellvertretend für die mit dem Kernkraftwerksstandort verbundenen Risikofaktoren. Solche sind nicht bekannt. Hier werden deshalb nur Alternativen zu der Erklärung des erhöhten Risikos durch Strahlenexpositionen, die durch Kernkraftwerke bedingt sind, diskutiert. Von den Autoren der Studie werden drei Alternativ-Erklärungen angeboten: Confounder, statistischer Zufall und Selektionsbias. Damit ein einzelner Confounder die beobachtete Assoziation erklären könnte, müsste es sich um einen starken Risikofaktor für Leukämien im Kindesalter handeln, der eine hohe Korrelation mit der Distanz zu Kernkraftwerken aufweist. Ein solcher Faktor ist nicht bekannt und erscheint unwahrscheinlich. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass das Zusammenwirken verschiedener Confounder zur beobachteten Assoziation geführt hat. In der Literatur ist eine Vielzahl möglicher Einflussgrößen beschrieben, deren Zusammenhang mit der Nähe zu Kernkraftwerken nicht bekannt ist (s. z. B. Antwort auf Frage B3; ausführlich wird dieser Aspekt im wissenschaftlichen Anhang diskutiert). Alle diese Faktoren sind mögliche, moderate Risikofaktoren für Leukämie im Kindesalter und könnten mit der Nähe zu Kernkraftwerken korreliert sein.

Der statistische Zufall kann im Rahmen epidemiologischer Untersuchungen immer einen Effekt erklären. Aus diesem Grund wurde das statistische Signifikanzniveau

von 5 % vorher festgesetzt. Auch wenn dieses eingehalten wird, sind in gewissem Umfang Zufallsbefunde möglich. Der Effekt eines möglichen Selektionsbias wurde mittels Sensitivitätsanalysen evaluiert. Dabei zeigt sich, dass eine gewisse Überschätzung der Assoziation wegen Selektionsbias plausibel ist, es jedoch sehr unwahrscheinlich ist, dass die gesamte Risikoerhöhung auf Selektionsbias zurückzuführen ist.

Insgesamt lässt sich die Frage nach alternativen Erklärungen nicht abschließend bewerten.

- i) **Analogie:** Falls es analoge Beispiele gibt, kann dies für die Beurteilung der Kausalität hilfreich sein. **Bewertung:** In der Vergangenheit wurden bei geplanten Standorten analoge Untersuchungen durchgeführt, bei denen ebenfalls erhöhte relative Risiken gefunden wurden. Planungs-Standorte wurden in der KiKK-Studie nicht untersucht.

Insgesamt ist es sehr unwahrscheinlich, dass die radioaktiven Emissionen aus Kernkraftwerken kausal mit Leukämie im Kindesalter assoziiert sind. Mit Ausnahme des Bradford Hill-Kriteriums ‚Zeitlichkeit‘, das grenzwertig positiv ist, ist kein einziges der Kriterien positiv (siehe Tab. 4). Die Höhe der Emissionen ist deutlich zu gering, um beim derzeitigen strahlenbiologischen Wissen die beobachtete Risikoerhöhung erklären zu können. Da im Rahmen der KiKK-Studie keine individuellen Strahlenexpositionen erhoben wurden, liefert die Studie keine Informationen darüber, ob ein Zusammenhang mit der Strahlenexposition beobachtet wurde.

Im Gegensatz dazu besteht in gewissem Umfang Evidenz für eine kausale Beziehung zwischen der Wohnortdistanz und der Leukämie im Kindesalter im 5 km-Radius. Mit Ausnahme der Bradford Hill-Kriterien ‚biologische Plausibilität‘, ‚Experiment/Tierversuche‘ und ‚Fehlen plausibler Alternativ-Erklärungen‘ werden die Kriterien positiv bewertet bzw. leisten keine Aussage. Damit stellt sich die Frage, auf welche Ursache bzw. Ursachen diese Beobachtung zurückzuführen ist. Diese Frage lässt sich aber ohne die Erfassung individueller Einflussfaktoren, wie dies für die KiKK-Studie Teil 2 geplant war, nicht beantworten.

Tab. 4: Überblick über die Bewertung der Kausalitätskriterien nach Bradford Hill bezüglich der Abstandsabhängigkeit bzw. der Abhängigkeit von durch Kernkraftwerke bedingten Strahlenexpositionen: '+' steht für Evidenz, '0' für keine Aussage, '-' für Evidenz gegen die Kausalität.

Erklärungsvariable	Kausalitäts-Kriterium nach Bradford Hill									Gesamt-bewertung
	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	i)	
Unbekannter mit dem Abstand vom KKW korrelierter Faktor: stetige Auswertung	+/0	0/-	0	+/0	0/-	0	0/-	0/-	0	Es spricht mehr gegen einen kausalen Zusammenhang
Unbekannter mit dem Abstand vom KKW korrelierter Faktor: kategorielle Auswertung	+/0	+	0	+/0	0/-	0	0/-	0/-	0	Es spricht mehr für einen kausalen Zusammenhang
Strahlenexposition durch KKW	-	0	0	+/0	-	0	0/-	0/-	0	Es spricht sehr viel mehr gegen einen kausalen Zusammenhang

B5 Welche weiteren Untersuchungen wären zur Klärung dieses Sachverhaltes erforderlich?

- 1 Erhebung weiterer Daten in Ergänzung zur KiKK-Studie
 - 1.1 Erhebung des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung, inkl. Saisonarbeiter (Revisionspersonal, Landarbeiter) im Studiengebiet der KiKK-Studie.
 - 1.2 Untersuchung von potentiellen Veränderungen der immunologischen Situation im Umfeld der Kernkraftwerke z. B. mit der Häufigkeit des Auftretens von Infektionserkrankungen als Indikator, um zu prüfen, ob Begleitumstände, die an Kernkraftwerksstandorten auftreten, für den Leukämieanstieg verantwortlich sein könnten.
- 2 Interdisziplinäre Grundlagenforschung zur Aufklärung der Ursachen und Mechanismen der Leukämieentstehung bei Kindern stärker fördern

Wie die Darstellung in Kap. 3.1 der SSK-Stellungnahme zeigt, ist es weitgehend unklar, wie es zur Entstehung von Leukämien im Kindesalter kommt. Zur Klärung des Sachverhaltes ist es notwendig, in Zukunft verstärkt die Ursachen und biologischen Mechanismen der Leukämie-Entstehung zu untersuchen. Dies ist vor allem dann erfolgversprechend, wenn mehrere Disziplinen kooperieren (insbesondere Epidemiologie, Genetik, Immunologie, Molekularbiologie, Strahlenbiologie).

3 Epidemiologische Studien

Da Leukämien im Kindesalter außerordentlich seltene Ereignisse sind (in Deutschland treten etwa 4 bis 5 Fälle pro 100 000 Kinder pro Jahr auf), fehlte in der Vergangenheit vielen epidemiologischen Studien die Power, um überhaupt die Chance zu haben, eventuelle Effekte bzw. deren Verursacher zu entdecken. Daher sollten intensive Überlegungen angestellt werden, wie internationale Studien angelegt und finanziert werden können, um diese Schwierigkeiten zu überwinden.

Solche großen internationalen epidemiologischen Studien sollten sowohl Informationen über Umweltexpositionen wie auch genetische Informationen sammeln, damit Gen-Umwelt-Interaktionen untersucht werden können.

Dabei sollte ein breites Spektrum industrieller Anlagen (z. B. stahlverarbeitende Betriebe, Kohlekraftwerke, chemische Fabriken, Solarparks, Standorte mit einer großen Zahl von Windkraftanlagen) untersucht werden.

Die bisherige epidemiologische Forschung zum Thema beruhte zum Teil auf Fall-Kontrollstudien, die eine Kollaboration mit den Studienteilnehmern voraussetzten. Da eine 100-prozentige Teilnahme-Bereitschaft nicht erreicht werden kann und die Teilnahmebereitschaft für Fälle und Gesunde typischerweise unterschiedlich ist, kann Selektionsbias die Ergebnisse verzerren. Zukünftige epidemiologische Studien sollten deshalb auch auf anderen Studiendesigns beruhen.

Verzeichnis aller Publikationen der Strahlenschutzkommission

Die bis einschließlich 2005 erschienenen Publikationen der Strahlenschutzkommission sind nur noch über den H. Hoffmann Fachverlag (www.hoffmann-fachverlag.de) beziehbar, die ab 2006 erschienenen Publikationen sind sowohl über den Verlag als auch im Buchhandel erhältlich.

In der Reihe „*Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission*“ sind bisher erschienen:

- | | |
|----------|--|
| Band 1 | Empfehlungen der Strahlenschutzkommission zu speziellen Fragen des Strahlenschutzes in den Jahren 1974 - 1984
1985, 279 Seiten, 31 Tabellen, ISBN 3-437-11034-9, 34,00 EUR |
| Band 2 | Wirkungen nach pränataler Bestrahlung
<i>Effects of Prenatal Irradiation</i>
1989, 2. Auflage, deutsch/englisch, 378 Seiten, 5 Abbildungen, 7 Tabellen, ISBN 3-437-11293-7, 39,95 EUR |
| Band 3 | Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition durch Photonenstrahlung und Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition durch Elektronen, insbesondere durch Beta-Strahlung
1991, 2., durchges. Auflage, 93 Seiten, 41 Abbildungen, 20 Tabellen, ISBN 3-437-11412-3, 18,00 EUR
<i>Dieser Band wird ersetzt durch Band 43 dieser Veröffentlichungsreihe</i> |
| Band 4 | Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen
Leitfaden für Ärztliche Berater der Katastrophenschutzleitung, Ärzte in Notfallstationen, Ärzte in der ambulanten und stationären Betreuung
2007, 3., überarb. Auflage, 75 Seiten, 2 Abbildungen, 7 Tabellen, ISBN 978-3-87344-131-6, 15,50 EUR |
| Band 5 | Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl in der Bundesrepublik Deutschland
Empfehlungen der Strahlenschutzkommission zur Abschätzung, Begrenzung und Bewertung
1986, 93 Seiten, 1 Abbildung, 7 Tabellen, ISBN 3-437-11084-5, 13,00 EUR |
| Band 5 A | Impact of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident on the Federal Republic of Germany
Recommendations of the Commission on Radiological Protection: Assessment, Limitation and Valuation
1988, englisch, 98 Seiten, ISBN 3-437-11184-1, 19,95 EUR |
| Band 6 | Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 1985/1986
1987, 212 Seiten, 2 Abbildungen, 27 Tabellen, ISBN 3-437-11138-8, 29,95 EUR |
| Band 7 | Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland
Aktivitätskonzentrationen in der Bundesrepublik Deutschland. Empfehlungen zur Begrenzung der Strahlenexposition. Strahlenexposition der Bevölkerung und Bewertung.
Zusammenfassender Bericht der Strahlenschutzkommission
1987, 237 Seiten, 61 Abbildungen, 40 Tabellen, ISBN 3-437-11147-7, 14,50 EUR |
| Band 7 A | Impact of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident on the Federal Republic of Germany
1988, englisch, 237 Seiten, 61 Abbildungen, 40 Tabellen, ISBN 3-437-11241-4, 29,00 EUR |
| Band 8 | Zur beruflichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 6.-8. November 1985
1988, 353 Seiten, 91 Abbildungen, 48 Tabellen, ISBN 3-437-11187-6, 29,95 EUR |

- Band 9 Radionuklide in Wasser-Schwebstoff-Sediment-Systemen und Abschätzung der Strahlenexposition
1988, 300 Seiten, 83 Abbildungen, 52 Tabellen, ISBN 3-437-11196-5, 24,00 EUR
- Band 10 Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 1987
Recommendations of the Commission on Radiological Protection 1987
1988, deutsch/englisch, 114 Seiten, 1 Abbildung, 7 Tabellen, ISBN 3-437-11233-3, 14,95 EUR
- Band 11 Strahlenschutzfragen bei Anfall und Beseitigung von radioaktiven Reststoffen
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 6./7. November 1986
1988, 223 Seiten, 60 Abbildungen, 21 Tabellen, ISBN 3-437-11238-4, 24,95 EUR
- Band 12 Aktuelle Fragen zur Bewertung des Strahlenkrebsrisikos
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 5./6. November 1987
1988, 291 Seiten, 31 Abbildungen, 41 Tabellen, ISBN 3-437-11239-2, 29,95 EUR
- Band 13 Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen
1995, 2., überarbeitete Auflage, 296 Seiten, 21 Abbildungen, 37 Tabellen, ISBN 3-437-11639-8, 44,95 EUR
Dieser Band wird ersetzt durch die Hefte 37 und 38 der Veröffentlichungsreihe "Berichte der Strahlenschutzkommission"
- Band 14 Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium
1989, 177 Seiten, 12 Abbildungen, 23 Tabellen, ISBN 3-437-11258-9, 24,95 EUR
- Band 15 Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 1988/1989
Recommendations of the Commission on Radiological Protection 1988/1989
1991, deutsch/englisch, 233 Seiten, 2 Abbildungen, 9 Tabellen, ISBN 3-437-11278-3, 29,95 EUR
- Band 16 Nichtionisierende Strahlung
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 7.-9. Dezember 1988
1990, 421 Seiten, 71 Abbildungen, 29 Tabellen, ISBN 3-437-11279-1, 39,95 EUR
- Band 17 Modelle, Annahmen und Daten mit Erläuterungen zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser zum Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV
1992, 194 Seiten, 13 Abbildungen, 9 Tabellen, ISBN 3-437-11419-0, 29,95 EUR
- Band 18 Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
Manuskripte des Fachgespräches des Ausschusses „Medizin und Strahlenschutz“
1992, 144 Seiten, 7 Abbildungen, 12 Tabellen, ISBN 3-437-11450-6, 29,95 EUR
- Band 19 Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung
1992, 114 Seiten, 43 Abbildungen, 17 Tabellen, ISBN 3-437-11451-4, 29,95 EUR
- Band 20 Risiken durch ionisierende Strahlung und chemotoxische Stoffe
Quantifizierung, Vergleich, Akzeptanz
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 7./8. Dezember 1989
1992, 200 Seiten, 18 Abbildungen, 13 Tabellen, ISBN 3-437-11452-2, 29,95 EUR
- Band 21 Die Strahlenexposition durch den Bergbau in Sachsen und Thüringen und deren Bewertung
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 7.-9. November 1990
1993, 208 Seiten, 42 Abbildungen, 24 Tabellen, ISBN 3-437-11453-0, 34,95 EUR

- Band 22 Schutz vor elektromagnetischer Strahlung beim Mobilfunk
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
Manuskripte des Fachgesprächs „Mögliche gesundheitliche Auswirkungen durch die moderne Telekommunikation“
1992, 137 Seiten, 23 Abbildungen, 14 Tabellen, ISBN 3-437-11438-7, 29,95 EUR
- Band 23 Strahlenschutzgrundsätze für die Verwahrung, Nutzung oder Freigabe von kontaminierten Materialien, Gebäuden, Flächen oder Halden aus dem Uranerzbergbau
Radiological Protection Principles Concerning the Safeguard, Use or Release of Contaminated Materials, Buildings, Areas or Dumps from Uranium Mining
1992, deutsch/englisch, 198 Seiten, 4 Abbildungen, 1 Karte, ISBN 3-437-11495-6, 34,95 EUR
- Band 24 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1990/1991
Recommendations and Statements of the Commission on Radiological Protection 1990/91
1993, deutsch/englisch, 357 Seiten, 2 Abbildungen, 6 Tabellen, ISBN 3-437-11519-7, 39,95 EUR
- Band 25 Notfallschutz und Vorsorgemaßnahmen bei kerntechnischen Unfällen
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 7./8. November 1991
1993, 347 Seiten, 112 Abbildungen, 46 Tabellen, ISBN 3-437-11520-0, 39,95 EUR
- Band 26 Strahlenschutzüberlegungen zum Messen und Bergen von radioaktiven Satellitenbruchstücken
1994, 160 Seiten, 23 Abbildungen, 14 Tabellen, ISBN 3-437-11629-0, 29,95 EUR
- Band 27 Medizinische Maßnahmen bei Strahlenunfällen
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 11.-13. November 1992
1994, 372 Seiten, 51 Abbildungen, 31 Tabellen, ISBN 3-437-11633-9, 39,95 EUR
- Band 28 Wirkungen niederfrequenter Felder
Symposium des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Strahlenschutzkommission, 3./4. Dezember 1992
1994, 306 Seiten, 64 Abbildungen, 34 Tabellen, ISBN 3-437-11634-7, 34,95 EUR
- Band 29 Ionisierende Strahlung und Leukämieerkrankungen von Kindern und Jugendlichen
1994, 98 Seiten, 10 Abbildungen, 6 Tabellen, ISBN 3-437-11635-5, 19,95 EUR
- Band 30 Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 18./19. Oktober 1993
1995, 462 Seiten, 80 Abbildungen, 127 Tabellen, ISBN 3-437-11659-2, 39,95 EUR
- Band 31 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1992/1993
Recommendations and Statements of the Commission on Radiological Protection 1992/93
1997, deutsch/englisch, 324 Seiten, 5 Abbildungen, 12 Tabellen, ISBN 3-437-25406-5, 43,00 EUR
- Band 32 Der Strahlenunfall
Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen
2007, 2., überarbeitete Auflage, 145 Seiten, 18 Abbildungen, 18 Tabellen, ISBN 978-3-87344-139-2, 22,00 EUR
- Band 33 Molekulare und zelluläre Prozesse bei der Entstehung stochastischer Strahlenwirkungen
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 13./14. Oktober 1994
1995, 253 Seiten, 61 Abbildungen, 9 Tabellen, ISBN 3-437-11685-1, 39,95 EUR
- Band 34 Environmental UV-Radiation, Risk of Skin Cancer and Primary Prevention
Internationaler Kongress und Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 6.-8. Mai 1996
1996, 443 Seiten, 126 Abbildungen, 33 Tabellen, ISBN 3-437-25188-0, 54,95 EUR

- Band 35 Sicherheitsaspekte der Sonographie
Sachverständigenanhörung der Strahlenschutzkommission, 2./3. März 1995
1998, 244 Seiten, 58 Abbildungen, 27 Tabellen, ISBN 3-437-25187-2, 39,95 EUR
- Band 36 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1994
Recommendations and Statements of the Commission on Radiological Protection 1994
1997, deutsch/englisch, 210 Seiten, 4 Abbildungen, 17 Tabellen, ISBN 3-437-25189-9, 34,95 EUR
- Band 37 Aktuelle radioökologische Fragen des Strahlenschutzes
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 12./13. Oktober 1995
1998, 288 Seiten, 85 Abbildungen, 29 Tabellen, ISBN 3-437-25199-6, 44,95 EUR
- Band 38 Funkanwendungen - Technische Perspektiven, biologische Wirkungen und Schutzmaßnahmen
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 15./16. Mai 1997
1999, 272 Seiten, 18 Abbildungen, 26 Tabellen, ISBN 3-437-21458-6, 54,95 EUR
- Band 39 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1995
1998, 120 Seiten, 6 Tabellen, ISBN 3-437-21448-9, 44,95 EUR
- Band 40 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1996
1998, 100 Seiten, 3 Tabellen, ISBN 3-437-21439-X, 39,95 EUR
- Band 41 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1997
1998, 200 Seiten, 2 Abbildungen, 12 Tabellen, ISBN 3-437-21438-1, 44,95 EUR
- Band 42 Methoden, Probleme und Ergebnisse der Epidemiologie
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 13.-15. Mai 1998
1999, 258 Seiten, 36 Abbildungen, 41 Tabellen, ISBN 3-437-21459-4, 49,95 EUR
- Band 43 Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition
2006, 2., überarbeitete Auflage, 188 Seiten, 82 Abbildungen, 12 Tabellen, ISBN 3-87344-129-2, 28,40 EUR
Ersetzt Band 3 dieser Veröffentlichungsreihe
- Band 44 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1998
1999, 208 Seiten, 10 Tabellen, ISBN 3-437-21449-7, 39,95 EUR
- Band 45 Bedeutung der genetischen Prädisposition und der genomischen Instabilität für die individuelle Strahlenempfindlichkeit (Konsequenzen für den Strahlenschutz)
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission, 20./21. Januar 2000
2001, 184 Seiten, 21 Abbildungen, 16 Tabellen, ISBN 3-437-21469-1, 24,95 EUR
- Band 46 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1999/2000
2002, 160 Seiten, 4 Abbildungen, 10 Tabellen, ISBN 3-437-21479-9, 19,00 EUR
- Band 47 Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten
2002, 180 Seiten, 35 Abbildungen, 8 Tabellen, ISBN 3-437-21478-0, 14,95 EUR
- Band 48 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 2001
2003, 220 Seiten, 6 Abbildungen, 16 Tabellen, ISBN 3-437-21488-8, 23,00 EUR
- Band 49 Aktuelle und zukünftige Aufgaben in der Radioökologie
Klausurtagung des Ausschusses "Radioökologie" der Strahlenschutzkommission, 25./26. Juli 2001
2003, 368 Seiten, 96 Abbildungen, 52 Tabellen, ISBN 3-437-21489-6, 31,25 EUR
- Band 50 Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 2002
2003, 182 Seiten, 35 Abbildungen, 8 Tabellen, ISBN 3-437-21498-5, 21,25 EUR

- Band 51 **Medizinische Strahlenexposition in der Diagnostik und ihre Bewertung**
Gemeinsame Klausurtagung der Strahlenschutzkommission und der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität, 21./22. Januar 2002
2004, 144 Seiten, 24 Abbildungen, 22 Tabellen, ISBN 3-437-21499-3, 19,25 EUR
- Band 52 **Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 2003**
2005, 334 Seiten, 35 Abbildungen, 2 Tabellen, ISBN 3-437-22326-7, 28,75 EUR
- Band 53 **Vergleichende Bewertung der biologischen Wirksamkeit verschiedener ionisierender Strahlungen**
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung
2005, 222 Seiten, 23 Abbildungen, 27 Tabellen, ISBN 3-437-22327-5, 22,75 EUR
- Band 54 **Neue Technologien: Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern**
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission am 1./2. Dezember 2003
2005, 285 Seiten, 78 Abbildungen, 10 Tabellen, ISBN 3-437-22328-3, 26,25 EUR
- Band 55 **Realistische Ermittlung der Strahlenexposition**
Klausurtagung des Ausschusses "Radioökologie" der Strahlenschutzkommission,
25./26. September 2003
2005, 376 Seiten, 77 Abbildungen, 58 Tabellen, ISBN 3-437-22329-1, 31,50 EUR
- Band 56 **Abschätzung, Bewertung und Management von Risiken**
Klausurtagung des Ausschusses „Strahlenrisiko“ der Strahlenschutzkommission am
27./28. Januar 2005
2005, 284 Seiten, 15 Abbildungen, 24 Tabellen, ISBN 3-437-22336-4, 26,50 EUR
- Band 57 **Neue Techniken in der Strahlendiagnostik und Strahlentherapie**
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission am 11./12. November 2004
2005, 157 Seiten, 28 Abbildungen, 3 Tabellen, ISBN 3-437-22337-2, 19,75 EUR
- Band 58 **Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 2004**
2007, 218 Seiten, 3 Abbildungen, 23 Tabellen, ISBN 978-3-87344-133-0, 22,50 EUR
- Band 59 **Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 2005**
2007, 212 Seiten, 1 Abbildung, 5 Tabellen, ISBN 978-3-87344-137-8, 22,50 EUR
- Band 60 **Notfallschutz bei Schadenslagen mit radiologischen Auswirkungen**
Klausurtagung der Strahlenschutzkommission am 10./11. November 2005
2007, 317 Seiten, 45 Abbildungen, 9 Tabellen, ISBN 978-3-87344-140-8, 45,00 EUR
- Band 61 **Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 2006**
2007, 335 Seiten, 8 Abbildungen, 14 Tabellen, ISBN 987-3-87344-141-5, 27,50 EUR
- Band 62 **Einfluss der natürlichen Strahlenexposition auf die Krebsentstehung in**
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung
2008, 330 Seiten, 29 Abbildungen, 34 Tabellen, ISBN 978-3-87344-144-6, 35,00 EUR

In der Reihe „*Berichte der Strahlenschutzkommission*“ sind bisher erschienen:

- Heft 1 **Die Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals**
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
1997, 2., ergänzte Auflage, 88 Seiten, ISBN 3-437-25466-9, 17,95 EUR
Dieses Heft wird ersetzt durch Heft 35 dieser Veröffentlichungsreihe
- Heft 2 **20 Jahre Strahlenschutzkommission 1974-1994**
- Eine Bilanz -
1995, 57 Seiten, ISBN 3-437-11671-1, 13,25 EUR

- Heft 3 Kriterien für die Alarmierung der Katastrophenschutzbehörde durch die Betreiber kerntechnischer Einrichtungen
Gemeinsame Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission und der Strahlenschutzkommission. Mit Erläuterungen
1995, 38 Seiten, ISBN 3-437-11688-6, 10,25 EUR
Dieses Heft wird ersetzt durch Heft 39 dieser Veröffentlichungsreihe
- Heft 4 10 Jahre nach Tschernobyl
Information der Strahlenschutzkommission zu den radiologischen Auswirkungen und Konsequenzen insbesondere in Deutschland
1996, 32 Seiten, ISBN 3-437-11730-0, 13,00 EUR
- Heft 5 Atmosphärische Ausbreitung bei kerntechnischen Notfällen
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
1996, 183 Seiten, ISBN 3-437-11731-9, 23,25 EUR
- Heft 6 Konzepte und Handlungsziele für eine nachhaltige, umweltgerechte Entwicklung im Strahlenschutz in Deutschland
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
1996, 22 Seiten, ISBN 3-437-25288-7, 9,95 EUR
- Heft 7 Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern der Energieversorgung und -anwendung
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
1997, deutsch/englisch, 124 Seiten, ISBN 3-437-25436-7, 19,95 EUR
- Heft 8 Jahresbericht 1996 der Strahlenschutzkommission
1997, 33 Seiten, ISBN 3-437-25438-3, 14,95 EUR
- Heft 9 Interventionelle Radiologie
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
1997, 40 Seiten, ISBN 3-437-25458-8, 10,25 EUR
- Heft 10 Strahlenexposition an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide
Radiation exposure at working places by natural radionuclides
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
1997, deutsch/englisch, 48 Seiten, ISBN 3-437-21336-9, 14,95 EUR
- Heft 11 Auswirkungen der Einführung neuer Dosismessgrößen im Strahlenschutz
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
1998, 60 Seiten, ISBN 3-437-25557-6, 12,95 EUR
- Heft 12 Jahresbericht 1997 der Strahlenschutzkommission
1998, 56 Seiten, ISBN 3-437-25558-4, 14,95 EUR
- Heft 13 Wissenschaftliche Begründung für die Anpassung des Kapitels 4 "Berechnung der Strahlenexposition" der Störfallberechnungsgrundlagen für Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor
1999, 96 Seiten, ISBN 3-437-21508-6, 17,95 EUR
- Heft 14 Empfehlungen zur Patientensicherheit bei Anwendungen der Ultraschalldiagnostik in der Medizin
Empfehlung der Strahlenschutzkommission einschließlich wissenschaftlicher Begründung
1998, 74 Seiten, ISBN 3-437-25559-2, 14,00 EUR
- Heft 15 Grundsätze für die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung
(Grundsätze nach § 41 StrlSchV)
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
1998, 46 Seiten, ISBN 3-437-25568-1, 12,95 EUR

- Heft 16 Freigabe von Materialien, Gebäuden und Bodenflächen mit geringfügiger Radioaktivität aus anzeige- oder genehmigungspflichtigem Umgang
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
1998, deutsch/englisch, 124 Seiten, ISBN 3-437-21306-X, 19,95 EUR
- Heft 17 Radon-Statusgespräch 1998
Neuherberg, 18./19. Mai 1998
Festveranstaltung zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. W. Jacobi
1998, 242 Seiten, ISBN 3-437-25569-X, 24,95 EUR
- Heft 18 Empfehlungen zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken bei Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik
1998, 74 Seiten, ISBN 3-437-25579-7, 14,95 EUR
Dieses Heft wird ersetzt durch Heft 36 der Berichte der Strahlenschutzkommission
- Heft 19 UV-Strahlung und malignes Melanom
Bewertung epidemiologischer Studien von 1990-1996
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung
1998, 86 Seiten, ISBN 3-437-25599-1, 14,95 EUR
- Heft 20 Jahresbericht 1998 der Strahlenschutzkommission
1999, 60 Seiten, ISBN 3-437-25589-4, 12,95 EUR
- Heft 21 Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereiches
(§ 64 Abs. 2 StrlSchV)
Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit Originalarbeiten
1999, 252 Seiten, ISBN 3-437-21507-8, 44,95 EUR
Dieses Heft wird ersetzt durch Heft 34 dieser Veröffentlichungsreihe
- Heft 22 Der Einsatz von SODAR-Geräten bei kerntechnischen Anlagen
Empfehlung der Strahlenschutzkommission und Statusbericht
1999, 170 Seiten, ISBN 3-437-21509-4, 29,95 EUR
- Heft 23 Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch elektromagnetische Felder (bis 300 GHz)
Empfehlung der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung
1999, 120 Seiten, ISBN 3-437-21516-7, 19,95 EUR
- Heft 24 Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
2000, 158 Seiten, ISBN 3-437-21517-5, 22,95 EUR
- Heft 25 Jahresbericht 1999 der Strahlenschutzkommission
einschließlich eines Rückblicks auf 25 Jahre Strahlenschutzkommission
2000, 86 Seiten, ISBN 3-437-21519-1, 17,95 EUR
- Heft 26 Bestimmung der Personendosis des Begleitpersonals bei Transporten von abgebrannten Brennelementen und hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
2000, 34 Seiten, ISBN 3-437-21518-3, 12,95 EUR
- Heft 27 Jahresbericht 2000 der Strahlenschutzkommission
einschließlich CD-ROM mit dem gesamten Internet-Angebot der SSK
2001, 72 Seiten, ISBN 3-437-21519-1, 12,95 EUR
- Heft 28 Vermeidung gesundheitlicher Risiken bei Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik
Fachgespräch vom 3. Mai 2000 in Oberschleißheim
2001, 228 Seiten, 44 Abbildungen, 23 Tabellen, ISBN 3-437-21528-0, 22,75 EUR

- Heft 29 Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor
elektromagnetischen Feldern
Empfehlung der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung
2001, 74 Seiten, ISBN 3-437-21527-2, 13,75 EUR
- Heft 30 Jahresbericht 2001 der Strahlenschutzkommission
einschließlich CD-ROM mit dem gesamten Internet-Angebot der SSK
2002, 84 Seiten, ISBN 3-437-21529-9, 14,50 EUR
- Heft 31 Mammographie-Screening in Deutschland: Bewertung des Strahlenrisikos
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung
2002, 68 Seiten, 10 Abbildungen, 5 Tabellen, ISBN 3-437-21166-3, 13,50 EUR
- Heft 32 Stand der Forschung zu den "Deutschen Uranbergarbeiterstudien"
1. Fachgespräch am 7./8. Mai 2001 in Sankt Augustin
2002, 128 Seiten, 4 Abbildungen, 22 Tabellen, ISBN 3-437-22167-1, 17,50 EUR
- Heft 33 Jahresbericht 2002 der Strahlenschutzkommission
einschließlich CD-ROM mit dem gesamten Internet-Angebot der SSK
2003, 84 Seiten, 2 Abbildungen, ISBN 3-437-22168-X, 15,75 EUR
- Heft 34 Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines
Kontrollbereiches (§ 44 StrlSchV)
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
2003, 82 Seiten, 3 Abbildungen, 6 Tabellen, ISBN 3-437-22169-8, 14,75 EUR
Dieses Heft ersetzt Heft 21 dieser Veröffentlichungsreihe
- Heft 35 Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des
fliegenden Personals
Vorschlag zur Umsetzung des § 103 StrlSchV
Empfehlung der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung
2003, 64 Seiten, 12 Abbildungen, 1 Tabelle, ISBN 3-437-22176-0, 13,00 EUR
Dieses Heft ersetzt Heft 1 dieser Veröffentlichungsreihe
- Heft 36 Empfehlungen zur sicheren Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der
medizinischen Diagnostik
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
2003, 64 Seiten, 5 Abbildungen, 2 Tabellen, ISBN 3-437-22177-9, 13,00 EUR
- Heft 37 Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei
kerntechnischen Notfällen
2004, 154 Seiten, 59 Abbildungen, 45 Tabellen, ISBN 3-437-22178-7, 19,75 EUR
*Dieses Heft ersetzt im Zusammenhang mit Heft 38 dieser Veröffentlichungsreihe den Band 13 der
Veröffentlichungsreihe "Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission"*
- Heft 38 Erläuterungsbericht zum Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der
Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen
- Begründungen, Modelle, Daten und Programme -
2004, 162 Seiten, 19 Abbildungen, 79 Tabellen, ISBN 3-437-22179-5, 19,75 EUR
*Dieses Heft ersetzt im Zusammenhang mit Heft 37 dieser Veröffentlichungsreihe den Band 13 der
Veröffentlichungsreihe "Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission"*
- Heft 39 Kriterien für die Alarmierung der Katastrophenschutzbehörde durch die Betreiber
kerntechnischer Einrichtungen
2004, 42 Seiten, 1 Abbildung, 16 Tabellen, ISBN 3-437-22186-8, 10,50 EUR
Dieses Heft ersetzt Heft 3 dieser Veröffentlichungsreihe
- Heft 40 Jahresbericht 2003 der Strahlenschutzkommission
einschließlich CD-ROM mit dem gesamten Internet-Angebot der SSK
2004, 82 Seiten, ISBN 3-437-22187-6, 15,75 EUR

- Heft 41 **Elektromagnetische Felder neuer Technologien**
Empfehlung der Strahlenschutzkommission zum Schutz der Bevölkerung und Statusbericht der Strahlenschutzkommission
2004, 56 Seiten, 1 Tabelle, ISBN 3-437-22188-4, 12,25 EUR
- Heft 42 **Brustkrebs- und Zervixkarzinom-Screening**
Stand der Forschung, Strategien, Kontroversen
9. Fakultätskolloquium, Fakultät für Gesundheitswissenschaften, Universität Bielefeld, in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Mammographie-Screening“ der Strahlenschutzkommission, 6.-7. April 2001
2004, 156 Seiten, 15 Abbildungen, 9 Tabellen, ISBN 3-437-22189-2, 18,50 EUR
- Heft 43 **Strahlenexposition durch Radon-222, Blei-210 und Polonium-210 im Trinkwasser**
Empfehlung / Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
2004, 74 Seiten, 11 Abbildungen, 13 Tabellen, ISBN 3-437-22196-5, 14,00 EUR
- Heft 44 **Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV, Neufassung des Kapitels 4: Berechnung der Strahlenexposition**
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
2004, 60 Seiten, 6 Abbildungen, 16 Tabellen, ISBN 3-437-22197-3, 12,25 EUR
- Heft 45 **Vergleich deutscher Freigabekriterien mit denen anderer Länder am Beispiel ausgewählter Radionuklide**
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
2005, 78 Seiten, 2 Abbildungen, 16 Tabellen, ISBN 3-437-22198-1, 14,50 EUR
- Heft 46 **Grundsätze und Methoden zur Berücksichtigung von statistischen Unsicherheiten für die Ermittlung repräsentativer Werte der spezifischen Aktivität von Rückständen**
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
2005, 158 Seiten, 56 Abbildungen, 37 Tabellen, ISBN 3-437-22199-X, 20,00 EUR
- Heft 47 **Jahresbericht 2004 der Strahlenschutzkommission**
einschließlich CD-ROM mit dem gesamten Internet-Angebot der SSK
2005, 121 Seiten, ISBN 3-437-22216-3, 18,00 EUR
- Heft 48 **Strahlenschutz für das ungeborene Kind**
Empfehlung der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung
2006, deutsch/englisch, 93 Seiten, 2 Abbildungen, 14 Tabellen, ISBN 3-87344-128-4, 14,50 EUR
- Heft 49 **Jahresbericht 2005 der Strahlenschutzkommission**
einschließlich CD-ROM mit dem gesamten Internet-Angebot der SSK
2006, 104 Seiten, 2 Abbildungen, ISBN 3-87344-126-8, 16,00 EUR
- Heft 50 **20 Jahre nach Tschernobyl – Eine Bilanz aus Sicht des Strahlenschutzes**
Including the English Version of the Statement of the Commission on Radiological Protection: "20 Years after Chernobyl – A Radiation Protection Perspective"
2006, 224 Seiten, 40 Abbildungen, 15 Tabellen, ISBN 3-87344-127-6, 24,00 EUR
- Heft 51 **Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen**
2006, 120 Seiten, 2 Tabellen, ISBN 3-87344-130-6, 10,00 EUR
- Heft 51 CD **Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen**
2007, CD-ROM, ISBN 978-3-87344-134-7, 10,00 EUR
- Heft 52 **Strahlenschutz in der Röntgentherapie**
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
mit Anhang „Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin vom 22. Dezember 2005“
2007, 71 Seiten, 2 Tabellen, ISBN 978-3-87344-132-2, 16,50 EUR
- Heft 53 **Jahresbericht 2006 der Strahlenschutzkommission**
2007, 104 Seiten, ISBN 978-3-87344-136-1, 10,00 EUR

- Heft 53 CD Jahresbericht 2006 der Strahlenschutzkommission
2007, CD-ROM, ISBN 978-3-87344-138-5, 10,00 EUR
- Heft 54 Freigabe von Stoffen zur Beseitigung
2007, 58 Seiten, 2 Abbildungen, 3 Tabellen, ISBN 978-3-87344-135-4, 11,50 EUR
- Heft 55 Jahresbericht 2007 der Strahlenschutzkommission
2008, 108 Seiten, 2 Abbildungen, 2 Tabellen, ISBN 978-3-87344-142-2, 10,00 EUR
- Heft 55 CD Jahresbericht 2007 der Strahlenschutzkommission
2008, CD-ROM, ISBN 978-3-87344-143-9, 10,00 EUR
- Heft 56 Interventionelle Radiologie
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
2008, 58 Seiten, 5 Abbildungen, 12 Tabellen, ISBN 978-3-87344-145-3, 8,50 EUR
- Heft 57 Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von
Kernkraftwerken (KiKK-Studie)
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
2008, 58 Seiten, 2 Abbildungen, 4 Tabellen, ISBN 978-3-87344-147-7, 10,00 EUR

Die Ausgaben der Reihe „Informationen der Strahlenschutzkommission“ sind kostenlos über die Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission erhältlich.

In der Reihe „*Informationen der Strahlenschutzkommission*“ sind bisher erschienen:

- Nummer 1 Strahlenunfall
Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen, Kurzfassung
2007, 2., überarbeitete Auflage, 54 Seiten, 9 Abbildungen, 11 Tabellen
- Nummer 2 Verzeichnis aller Publikationen der Strahlenschutzkommission
Mit Kurzbeschreibung der einzelnen Veröffentlichungen
2004, 66 Seiten
- Nummer 4 Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung
Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1995-1997
1998, 120 Seiten
- Nummer 5 Strahlenschutz und Strahlenbelastung im Zusammenhang mit Polizeieinsätzen
anlässlich von CASTOR-Transporten
Stellungnahmen und Empfehlungen der Strahlenschutzkommission sowie Erläuterungen zum
Strahlenrisiko
1998, 60 Seiten
- Nummer 6 Schutz des Menschen vor den Gefahren der UV-Strahlung in Solarien
Empfehlung der Strahlenschutzkommission einschließlich wissenschaftlicher Begründung
2001, 60 Seiten

In der Reihe „*Sonstige*“ sind bisher erschienen:

- Buch 1 Zehn Jahre nach Tschernobyl, eine Bilanz
Seminar des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Strahlenschutzkommission, München,
6./7. März 1996
Herausgegeben von Prof. Dr. A. Bayer, Prof. Dr. A. Kaul und Prof. Dr. Chr. Reiners
1996, 594 Seiten, ISBN 3-437-25198-8, 54,95 EUR
*Gemeinsame Veröffentlichung des Bundesamtes für Strahlenschutz und der
Strahlenschutzkommission*

In der Reihe *Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK)* zuletzt erschienen:

- Heft 50 **20 Jahre nach Tschernobyl – Eine Bilanz aus Sicht des Strahlenschutzes**
20 Years after Chernobyl – A Radiation Protection Perspective
2006, 224 Seiten, 40 Abbildungen, 15 Tabellen, ISBN 3-87344-127-6, 24,00 EUR
- Heft 51 **Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen**
2006, 120 Seiten, 2 Tabellen, ISBN 3-87344-130-6, 10,00 EUR
- Heft 51-CD **Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen**
2007, CD-ROM, ISBN 978-3-87344-134-7, 10,00 EUR
- Heft 52 **Strahlenschutz in der Röntgentherapie**
2007, 71 Seiten, 2 Tabellen, ISBN 978-3-87344-132-2, 16,50 EUR
- Heft 53 **Jahresbericht 2006 der Strahlenschutzkommission**
2007, 104 Seiten, ISBN 978-3-87344-136-1, 10,00 EUR
- Heft 53-CD **Jahresbericht 2006 der Strahlenschutzkommission**
2007, CD-ROM, ISBN 978-3-87344-138-5, 10,00 EUR
- Heft 54 **Freigabe von Stoffen zur Beseitigung**
2007, 58 Seiten, 2 Abbildungen, 3 Tabellen,
ISBN 978-3-87344-135-4, 11,50 EUR
- Heft 55 **Jahresbericht 2007 der Strahlenschutzkommission**
2008, 108 Seiten, 2 Abbildungen, 2 Tabellen, ISBN 978-3-87344-142-2, 10,00 EUR
- Heft 55-CD **Jahresbericht 2007 der Strahlenschutzkommission**
2008, CD-ROM, ISBN 978-3-87344-143-9, 10,00 EUR
- Heft 56 **Interventionelle Radiologie**
Empfehlung der Strahlenschutzkommission
2008, 58 Seiten, 5 Abbildungen, 12 Tabellen, ISBN 978-3-87344-145-3, 8,50 EUR



Die Strahlenschutzkommission im Internet:
www.ssk.de
