

Dr. Alfred Körblein, Karin Wurzbacher:

## **Kommentare zur Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie) durch die Strahlenschutzkommission**

18. Februar 2009

### **Vorbemerkung**

Der Beschluss, eine neue Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (die spätere KiKK-Studie) durchzuführen, wurde im Juni 2001 vom BfS nach einem Treffen in Kassel zwischen BfS, Umweltinstitut München (UIM) und IPPNW gefasst. Vorausgegangen waren Studien von Alfred Körblein, der damals am UIM arbeitete, welche signifikant erhöhte Krebsraten bei Kindern um bayerische Kernkraftwerke ergeben hatten, und erhebliche Beunruhigung in der betroffenen Bevölkerung auslösten. Die atomkritische Ärzteorganisation IPPNW startete Anfang 2001 eine Unterschriftenkampagne im Internet mit der Forderung, den Ursachen der erhöhten Krebsraten durch weitere epidemiologische Studien nachzugehen. Karin Wurzbacher und Alfred Körblein vom Umweltinstitut München waren in der Folge an der Entwicklung des Studiendesigns und auch mit Sitz im externen Expertengremium vertreten, weshalb sie sich berufen fühlen, zur Bewertung der Ergebnisse der KiKK-Studie durch die Strahlenschutzkommission (SSK) Stellung zu nehmen.

### **Anmerkungen zum SSK-Bericht**

Die Beratungsergebnisse der SSK werden im Bericht in sieben Punkten zusammengefasst. Im folgenden werden wir auf die Punkte einzeln eingehen.

- 1. 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 die erhöhte Rate von Leukämie generell in der Umgebung von Kernkraftwerken gibt.*

Die KiKK-Studie hat eine höhere Aussagekraft als vorhergehende meist ökologische Studien. Das Studiendesign unterscheidet sich deutlich. Die Anforderungen an eine analytische Studie werden erst durch die KiKK-Studie erfüllt. Bei den beiden vorausgegangenen Studien des Deutschen Kinderkrebsregisters (DKKR) hing das Ergebnis für Leukämien bei Kleinkindern im Nahbereich von kerntechnischen Anlagen von der Größe der Vergleichsgebiete ab. Mit den 5 km-Vergleichsregionen ergab sich für den Zeitraum 1980-1995 ein relatives Risiko von 2,90 ( $p=0,004$ ), aber mit den 15 km-Vergleichsregionen ein relatives Risiko von 1,49 ( $p=0,060$ ).

Die relativierende Aussage der SSK, das Ergebnis der KiKK-Studie stelle keine unabhängige Bestätigung der Ergebnisse früherer Studien dar, ist so nicht haltbar. Die Daten waren zum großen Teil andere als in den vorausgegangenen Studien.

Die Studie des DKKR von 1997 umfasste 1362 Krebsfälle bei Kindern unter 15 Jahren im Zeitraum 1980-1995, darunter 607 Fälle (44,6%) an den 5 Standorten von Forschungs- und Versuchsreaktoren. Diese wurden in der KiKK-Studie nicht berücksichtigt (Hamm: 93, Jülich: 95, Mülheim-Kärlich: 72, Karlsruhe: 146, Kahl 201). Die Anzahl von Krebsfällen bei Kindern unter 5 Jahren betrug an allen 20 Standorten von kerntechnischen Anlagen 691. Unter der vereinfachenden Annahme, dass der Anteil der Kleinkinder an allen Standorten gleich groß ist, umfasste die DKKR Studie von 1997  $691 \cdot 55,4\% = 383$  Kleinkinder an den 15 Standorten von Kernkraftwerken. Damit sind nur 24% ( $=383/1592$ ) der Fälle aus der DKKR Studie in der KiKK-Studie enthalten. Die Kontrollen (Kinder ohne Krebs) in der KiKK-Studie sind sowieso zu 100% verschieden von den Krebsfällen in den Vergleichsregionen der

DKKR Studie. In das Ergebnis für das relative Risiko geht aber die Zahl der Kontrollen (KiKK-Studie) bzw. die Zahl der Krebsfälle in der Vergleichsregion (DKKR-Studie) ein. Damit ist die Aussage, die beiden Studien enthielten zum Großteil die gleichen Daten, nicht haltbar.

Im SSK-Bericht wird einer kürzlich erschienen Veröffentlichung im Deutschen Ärzteblatt von Kaatsch et al. [1], den Autoren der KiKK-Studie, ein ganzes Kapitel gewidmet. In dieser Publikation mit dem Titel „Leukämien bei unter 5-jährigen in der Umgebung deutscher Kernkraftwerke“, einer ökologischen Studie, relativieren die Autoren der KiKK-Studie die Ergebnisse ihrer eigenen aufwändigen Fall-Kontrollstudie. Im Ergebnis wird festgestellt, dass sich die Leukämierate im gesamten Studiengebiet nicht von der Rate im Bundesgebiet unterscheidet. Für die 5-km Zone wird ein standardisiertes Inzidenzverhältnis (SIR) von 1,41 berichtet, das nicht signifikant erhöht ist (KI 0,98-1,97). Dass vermutlich ein Gebiet gemeint ist, das alle Gemeinden mit Mittelpunkt in der 5-km Zone umfasst, und das deshalb größer ist als der exakt bestimmte 5-km Entfernungsbereich der KiKK-Studie, geht auch daraus hervor, dass die Zahl von erwarteten Fällen im 5-km Nahbereich in der neuen ökologischen Studie mit  $E=24,1$  deutlich größer ist als in der KiKK-Studie mit 17. Die in der KiKK-Studie gefundene hochsignifikante Erhöhung der Leukämierate um 119% im 5-km Nahbereich wird damit auf nicht signifikante 41% heruntergerechnet. Insgesamt gesehen trägt diese Studie auf Gemeindeebene nicht zur Erhellung der Ergebnisse der KiKK-Studie bei. Aber sie zeigt exemplarisch, wie deutlich das bei der KiKK-Studie gewählte Fall-Kontrollstudiendesign einem ökologischen Studiendesign überlegen ist.

Im Nahbereich von deutschen Kernkraftwerken ist die Leukämierate deutlich erhöht. Dies wurde auch von den externen Gutachtern Darby und Read bestätigt. Was derzeit nicht abschließend geklärt werden kann, sind die Ursachen für diese Erhöhung.

In Punkt 1 wird auch auf neue Studien in anderen Ländern hingewiesen, die keine Erhöhung, ergeben hätten. Es handelt sich dabei wohl um eine ökologische Studie aus Großbritannien [2]. Diese ergab zwar, basierend auf 18 beobachteten Fällen, kein signifikant erhöhtes Risiko im 5-km Nahbereich von 13 britischen Kernkraftwerken ( $SIR=1,23$ ;  $p=0,217$ ). Vergleicht man aber das SIR im 0-5 km Bereich mit dem SIR im 5-10 km Bereich ( $SIR=0,81$ ) so errechnet sich ein relatives Risiko von  $RR=1,23/0,81=1,52$  ( $p=0,093$ , einseitiger Test). Eine ähnliche Betrachtung für Deutschland mit den Daten aus [1] ergibt  $RR=1,41/0,98=1,45$  ( $p=0,029$ ). Fasst man die englischen und deutschen Daten zusammen, so erhält man  $RR=1,34/0,90=1,49$  ( $p=0,013$ ). Es zeigt sich also, dass die deutschen und die englischen Daten sich nicht widersprechen, sondern zusammengefasst ein deutlich signifikanteres Ergebnis liefern als einzeln.

Mittlerweile wurde auch eine ökologische Studie aus Frankreich [3] veröffentlicht. Sie umfasste allerdings nur einen sehr kurzen Zeitraum von 9 Jahren (1990-1998), weshalb im 5-km Nahbereich nur 5 Fälle beobachtet wurden. Vergleicht man aber die Leukämiefälle im 10-km Nahbereich mit den Fällen im 10-20 km Entfernungsbereich, so errechnet sich ein relatives Risiko von 1,19 ( $p=0,248$ ). Eine entsprechende Auswertung der deutschen Daten aus [1] ergibt  $RR=1,12$  ( $p=0,171$ ). Auch diese Ergebnisse sind also durchaus vergleichbar.

Studien aus Großbritannien, Frankreich und Deutschland haben Leukämiecluster um einzelne Standorte von Nuklearanlagen gefunden. Es handelte sich dabei um die Wiederaufarbeitungsanlagen in Sellafield (1950-1986), Dounreay (1968-1984) und La Hague (1978-1998) [5], und das Kernkraftwerk Krümmel (1980-1995). Tabelle 1 enthält die beobachteten (O) und erwarteten (E) Fallzahlen (Daten entnommen aus [4]) und die standardisierten Inzidenzverhältnisse  $SIR=O/E$ , zusammen mit den einseitigen p-Werten aus der Poissonverteilung.

Für La Hague standen die Daten geschlechtsspezifisch zur Verfügung. Alle 4 beobachteten Leukämiefälle im 10-km Nahbereich waren Jungen. Für Jungen ist die Erhöhung damit deutlich signifikant ( $SIR=5,6$ ;  $p=0,0063$ , siehe letzte Zeile). Obwohl die beobachteten Fallzahlen also durchweg sehr klein sind ( $O = 5, 5, 8, 4$ ), ist die Risikoerhöhung signifikant, weil SIR groß gegen 1 ist.

Tabelle 1: Leukämiecluster an Einzelstandorten

	O	E	SIR	p-Wert
Sellafield	5	0,53	9,36	0,0002
Dounreay	5	1,57	3,19	0,0219
Krümmel	8	2,56	3,13	0,0048
La Hague, m+w	4	1,30	3,08	0,0431
La Hague, m	4	0,72	5,56	0,0063

Anders ist die Situation bei Studien mit gepoolten Daten. Naturgemäß sind die Fallzahlen viel größer, aber die SIR sind in der Regel wesentlich kleiner. Tabelle 2 enthält die Ergebnisse von Studien des deutschen Kinderkrebsregisters (KKR) von 1992 (1980-1990) und 1997 (1991-1995) zur Leukämieinzidenz bei Kleinkindern im 5-km Nahbereich von 20 kerntechnische Anlagen in Deutschland. Angegeben sind neben der Zahl der beobachteten und erwarteten Leukämiefälle das standardisierte Inzidenzverhältnis (SIR) mit 90% Vertrauensbereich. Die letzte Zeile zeigt zum Vergleich die entsprechenden Daten für 16 Standorte von Kernkraftwerken, 1980-2003 [1].

Tabelle 2: Leukämieinzidenz im Nahbereich deutscher kerntechnischer Anlagen

	O	E	SIR	90% CI	p-Wert
1980-1990	19	15,08	1,26	0,83-1,85	0,1862
1991-1995	12	6,30	1,90	1,10-3,09	0,0277
1980-1995	31	21,38	1,45	1,05-1,96	0,0296
1980-2003	34	24,09	1,41	1,04-1,88	0,0328

Während in der ersten Studie der KKR (1980-1990) ein signifikant erhöhtes relatives Risiko von 3,0 berichtet wurde, ist der Wert von SIR in diesem Zeitraum nicht signifikant erhöht (SIR=1.26; p=0.186). Das dreifach erhöhte relative Risiko ist also im wesentlichen eine Folge eines deutlich erniedrigten SIR von 0.42 im Vergleichsgebiet. Das Ergebnis einer epidemiologischen Studie hängt also stark vom Studiendesign ab. Die Zusammenstellung in Tabelle 2 zeigt, dass die SIR in den einzelnen Zeitintervallen innerhalb der Fehlergrenzen gut übereinstimmen. Ein zeitlicher Trend ist nicht erkennbar.

2. *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 Methodik der KiKK-Studie wurde vor Kenntnis der Daten nach bestem Wissen und nach langen Diskussionen festgelegt. Wenn Schwächen nach Kenntnis der Daten und Vorliegen der Ergebnisse zu erkennen sind, so kann nicht daraus gefolgert werden, dass es vernünftiger gewesen wäre, die Studie so nicht durchzuführen. Gleichzeitig bestätigt die SSK, dass das Design geeignet war, die Abstandsabhängigkeit gemäß Hauptfragestellung zu analysieren. Auch hat sich die SSK den Aussagen der externen Gutachter Darby und Read angeschlossen (Bericht S. 24), welche die zentralen Ergebnisse der KiKK-Studie bestätigen.

Das externe Expertengremium hat zusammen mit dem BfS und dem Auftragnehmer die Frage der Expositionsbestimmung für die KiKK-Studie ausführlich diskutiert. Eine zuverlässige Berechnung der Exposition nach AVV wurde bei der KiKK-Studie, die 16 Einzelstandorte umfasst, als nicht praktikabel angesehen. Als Ersatzgröße (Proxy) für die Exposition wurde gemäß UNSCEAR der reziproke Abstand herangezogen. Aufgabe der KiKK-Studie war es festzustellen, ob es einen negativen Abstandstrend gibt.

Auch hinsichtlich der Erhebung von Einflussfaktoren weist das Studiendesign keine methodische Schwäche auf. Teil 2 der KiKK-Studie diente allein der Untersuchung von Einflussfaktoren, scheiterte aber einerseits an der mangelhaften Bereitschaft der Probanden, sich an der Studie zu beteiligen. Andererseits war dieser Studienteil mit nur 360 Fällen und 696 Kontrollen so sehr unterpowert, dass er keine belastbaren Aussagen zum möglichen Einfluss von Confoundern zuließ.

- 3. 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 SSK schränkt ihre Aussagen aufgrund der explorativen Untersuchung der externen Gutachter Darby und Read auf die innere Zone bis maximal 5 km ein. Dort wurden die höchsten zusätzlichen Risiken beobachtet. Die Ergebnisse der KiKK-Studie werden damit auf eine kategorielle Auswertung reduziert. Für die KiKK-Studie wurde vorab zusätzlich zur Prüfung des Abstandstrends (Hauptfragestellung) festgelegt, als Nebenfragestellung zu prüfen, ob das Risiko für Entfernungen kleiner 5 km bzw. 10 km größer ist als für Entfernungen größer 5 km bzw. 10 km. Da beide Fragestellungen im Studiendesign festgelegt wurden, berichtet die KiKK-Studie korrekterweise beide Ergebnisse.

Die Angabe von Attributivrisiken bezogen auf das gesamte Gebiet der Bundesrepublik ist nicht zulässig, da nur eine relativ kleine Umgebung um die Standorte von Kernkraftwerken untersucht wurde. Es ist richtig, dass das Krebsrisiko nur im 5 km-Radius signifikant erhöht ist. Aber ebenso richtig ist, dass die Datenlage nicht erlaubt auszuschließen, dass es auch jenseits von 5 km Zusatzrisiken gibt.

- 4. 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 1000 geringer als Strahlenexpositionen, die die in der KiKK-Studie berichteten Risiken bewirken könnten.*

Die SSK bespricht in ihrem Bericht ausführlich den derzeitigen Stand des strahlenbiologischen und –epidemiologischen Wissens, jedoch nicht die möglichen Unsicherheiten und das fehlende Wissen. Auch die Schwierigkeiten der Expositionsbestimmung werden im SSK Bericht nicht diskutiert. Der von der SSK zitierte Faktor 1000 ergibt sich bekanntlich nicht aus Messungen sondern aus einer komplexen Rechnung, die auf Modellen beruht, in die eine Vielzahl von Annahmen eingehen. Dazu gehören z.B. atmosphärische Ausbreitungsrechnungen, bei denen sich unter Verwendung von Quasilangzeitausbreitungsfaktoren im Vergleich zu Langzeitausbreitungsfaktoren wesentlich höhere Bodenkontaminationen ergeben. Nach O. Schumacher gehen Quasilangzeitausbreitungsfaktoren von der (realistischen) Annahme einer Reihe diskontinuierlicher Ableitungen aus, für welche die atmosphärische Ausbreitung anhand des Kurzzeitausbreitungsfaktors berechnet wird [6].

Zu den Unsicherheiten bei der Ausbreitungsrechnung kommen die Unsicherheiten bei Transferfaktoren, Dosisfaktoren, Strahlenwichtungsfaktoren, Organwichtungsfaktoren etc. Alle diese Unsicherheiten gehen multiplikativ in die Rechnung ein (siehe dazu den Bericht der CERRIE Kommission [7]). Konservativ sind lediglich die Annahmen zu den Verzehrmenen; die anderen Parameter stellen Mittelwerte dar. Geboten wäre eine probabilistische Herangehensweise, bei der nicht diskrete Werte sondern Medianwerte und Verteilungsannahmen eingehen. Die Ungenauigkeit der Dosissschätzung könnte insgesamt mehr als eine Größenordnung ausmachen.

Wenn davon auszugehen ist, dass Leukämien bei Kleinkindern überwiegend pränatal induziert werden, dann sollte berücksichtigt werden, dass das empfindlichste Stadium der Schwangerschaft für das heranwachsende Leben das erste Trimester ist, insbesondere die Zeit der Organbildung in der 3-7 Woche [8], siehe auch Abb.1. Das in [9] genannte relative Risiko von 51/Sv bezieht sich aber auf eine Exposition im letzten Trimester der Schwangerschaft und auf Kinder unter 15 Jahren. Über die gesamte Schwangerschaft ist das Risiko deutlich höher, so dass die Verdopplungsdosis nur wenige mSv betragen dürfte.

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

Es kommt nicht auf die gesamte Strahlenexposition an, sondern nur auf diejenige, in der sich Fälle und Kontrollen unterscheiden. Es ist nicht anzunehmen, dass die Schwankungen der natürlichen Strahlenexposition zwischen Fällen und Kontrollen unterschiedlich verteilt sind. Die natürliche Strahlenexposition kann deshalb nicht mit dem Risikoanstieg in der Nähe von Kernkraftwerken in Verbindung gebracht werden.

6. *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.*

Auch die weiteren von der SSK in Erwägung gezogenen möglichen Ursachen für die gefundenen Leukämieraten genügen nicht der beobachteten Abstandsabhängigkeit. Die Spekulation, dass die Lebensbedingungen in den ländlichen Regionen der auslösende Faktor seien (Bericht S. 19), erklärt nicht die massive Erhöhung des Risikos im 5-km Nahbereich der Kernkraftwerke. Außerdem widerspricht dem, dass die Leukämieinzidenz in ländlichen Regionen in Bayern niedriger ist als in städtischen Regionen. Dies ergab eine Regressionsanalyse der Leukämieraten bei Kindern in den bayerischen Landkreisen (1983-98). Die Leukämierate wächst mit zunehmender Bevölkerungsdichte signifikant ( $p < 0,01$ ) um  $7,2 \% \pm 2,7\%$  pro 1000 Einw/km<sup>2</sup> (siehe Abb.2). Eine erhöhte Leukämierate in dicht besiedelten Gegenden Englands wurde auch in den OSCC Daten gefunden [10].

7. *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 bewirken 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.*

Eine weitergehende, interdisziplinäre Erforschung der Entstehung von Leukämien ist sicher notwendig. Aber auch weitere explorative Untersuchungen mit den KiKK-Daten wären sinnvoll, z.B. eine getrennte Auswertung nach Standorten von Siedewasser- und Druckwasserreaktoren (aus den jährlichen Berichten der Bundesregierung zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung geht hervor, dass die Strahlenbelastung um SWR höher ist als um DWR) oder eine Auswertung der Leukämieraten nach Geschlecht getrennt. In den höher belasteten Regionen um Tschernobyl war die Leukämierate 1987 nur bei Jungen signifikant erhöht, nicht aber bei Mädchen [11], siehe auch Abb.3. Im 0-10 km Nahbereich der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague war

die Leukämierate bei Jungen 7-mal höher als im angrenzenden 10-35 km Bereich [5]. Bei Mädchen wurde kein Fall beobachtet.

### **Eigene Überlegungen zur Stützung der Strahlenhypothese**

Da die Dosisbelastungen für Kleinkinder im Nahbereich der Kernkraftwerke in den Jahresberichten der Bundesregierung zur Strahlenexposition mit einigen  $\mu\text{Sv/a}$  pro Jahr angegeben werden (u.a. Philippsburg 8  $\mu\text{Sv}$ , Gundremmingen 6  $\mu\text{Sv}$ , Isar 4  $\mu\text{Sv}$ , siehe Bericht für das Jahr 2006 [12], S.17), könnte - unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Dosisberechnung - die tatsächliche Dosis eher bei einem Zehntel der natürlichen Hintergrundstrahlung liegen. Das kann aber die Verdoppelung der Leukämieraten noch nicht erklären.

In der Regel geht man davon aus, dass eine prozentuale Erhöhung der Hintergrundstrahlung eine ebenso große prozentuale Erhöhung des Strahlenrisikos bedeutet. Dies ist aber nur dann richtig, wenn die Dosis-Wirkungsbeziehung (DWB) linear ist. Nun kennt man aber bis heute die Form der DWB für die pränatale Leukämieinduktion bei sehr niedrigen Dosen/Dosisraten nicht. Eigene Auswertungen der Monatsdaten der Perinatalsterblichkeit aus Westdeutschland, der Säuglingssterblichkeit in Polen und der Fehlbildungsrate in Bayern zeigen eine signifikant nichtlineare Abhängigkeit von der berechneten Cäsiumbelastung der Schwangeren (Abb.4-6). Auch die KiKK Daten für Leukämien um deutsche Kernkraftwerke werden mit einem linear-quadratischen Abstandsmodell besser gefittet (AIC=38,94) als mit einem linearen Modell (AIC=39,54) (siehe Abb.7-8).

Während die natürliche Strahlenexposition mit ca. 1 mSv/a (ohne Radonanteil) zeitlich nahezu konstant ist, sind die Emissionen der Kernkraftwerke durch starke zeitliche und örtliche Schwankungen gekennzeichnet. Eine probabilistische Betrachtung ergibt, dass das Risiko überproportional mit der Dosis ansteigt. Dann wird das Risiko durch Emissionsspitzen bestimmt. Der Vergleich mit der im wesentlichen zeitlich konstanten natürlichen Hintergrundstrahlung führt zu falschen Schlüssen.

Dieser Gedanke wird in einem Artikel von Körblein in der Zeitschrift "Strahlentelex" vom November 2008 genauer ausgeführt [13]. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten bei der Dosisberechnung könnte das Gedankenmodell dazu beitragen, die Lücke zwischen epidemiologischer Evidenz und strahlenbiologischem Wissen zu schließen.

### **Quellen**

1. Kaatsch P, Spix C, Jung I, Blettner M. Leukämien bei unter 5-jährigen Kindern in der Umgebung deutscher Kernkraftwerke. Dtsch Arztebl 2008; 105(42):725-32
2. Bithell JF, Keegan TJ, Kroll ME, Murphy MF, Vincent TJ. Childhood Leukaemia near British nuclear installations: Methodological issues and recent results. Radiat Prot Dosi-metry. 2008 Oct 20.
3. Laurier D, Hémon D, Clavel J, Childhood leukaemia incidence below the age of 5 years near French nuclear power plants. J Radiol Prot. 2008 Sep;28
4. Grosche B. Leukämievorkommen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Wichmann, Schlipköter, Fülgraff – Handbuch Umweltmedizin - 15. Erg. Lfg. 4/99.
5. Guizard AV, Boutou O, Pottier D, Troussard X, Pheby D, Launoy G, Slama R, Spira. The incidence of childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant (France): a survey for the years 1978-1998. J Epidemiol Community Health. 2001 Jul;55(7):469-74.

6. O. Schumacher. Zuverlässigkeit der AVV hinsichtlich der Emissionsausbreitungsberechnungen und Dosisermittlung.  
[http://strahlentelex.de/\\_C1\\_Zuverlaessigkeit\\_der\\_AVV\\_Schumacher\\_O.pdf](http://strahlentelex.de/_C1_Zuverlaessigkeit_der_AVV_Schumacher_O.pdf)
7. CERRIE (2004) Report of the Committee Examining the Radiation Risks of Internal Emitters. [www.cerrie.org](http://www.cerrie.org)
8. Gilman EA, Kneale GW, Knox EG, Stewart AM. Pregnancy x-rays and childhood cancers: effects of exposure age and radiation dose. *J Radiol Prot* 1988, Vol 8 No 1: 3-8.
9. Wakeford R. The risk of childhood cancer from intrauterine and preconceptional exposure to ionizing radiation. *Environ Health Perspect.* 1995 Nov;103(11):1018-25. Review.
10. Knox EG, Stewart AM, Gilman EA, Kneale GW. Background radiation and childhood cancers. *J Radiol Prot (GB).* 1988 (8):9-18.
11. Körblein A. Leukämien bei Kindern in der Umgebung von Tschernobyl. *Strahlentelex* (2008) 508-509: 4-6. [http://www.strahlentelex.de/Stx\\_08\\_508\\_S04-06.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_08_508_S04-06.pdf)
12. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/068/1606835.pdf>
13. Körblein A. Einfluss der Form der Dosis-Wirkungsbeziehung auf das Leukämierisiko. *Strahlentelex* (2008) 524-25:8-10. [http://www.strahlentelex.de/Stx\\_08\\_524\\_S08-10.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_08_524_S08-10.pdf)

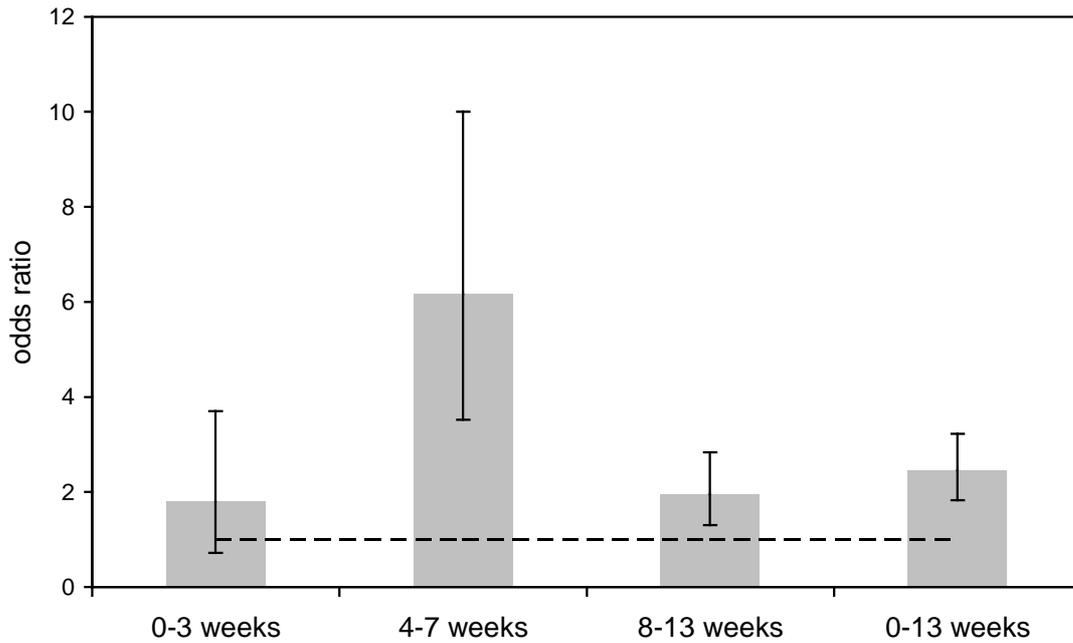


Abb.1: Risiko für Leukämien nach *in-utero* Röntgenbestrahlung in verschiedenen Stadien der Schwangerschaft, im Vergleich zum Risiko nach der 13. Schwangerschaftswoche. Die Fehlerbalken kennzeichnen den 95% Vertrauensbereich. Auswertung der Daten aus [6] durch A. Körblein.

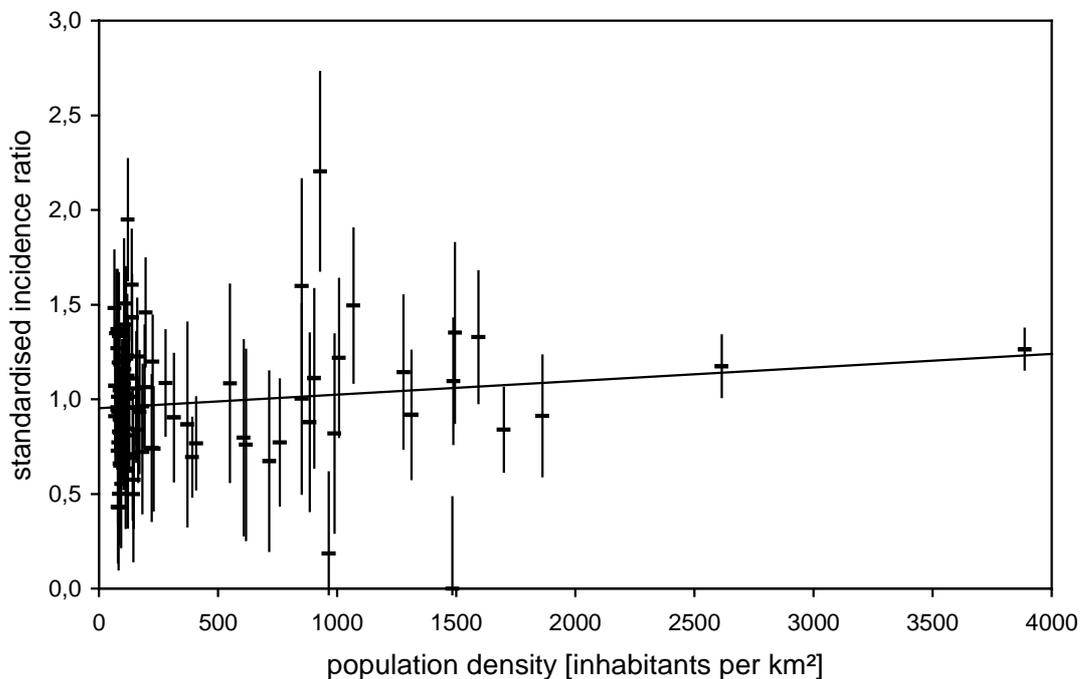


Abb.2: Abhängigkeit der Leukämierate, 1983-98, von der Bevölkerungsdichte in den bayerischen Landkreisen (A. Körblein, unveröffentlicht). Die Fehlerbalken zeigen die einfachen Standardabweichungen.

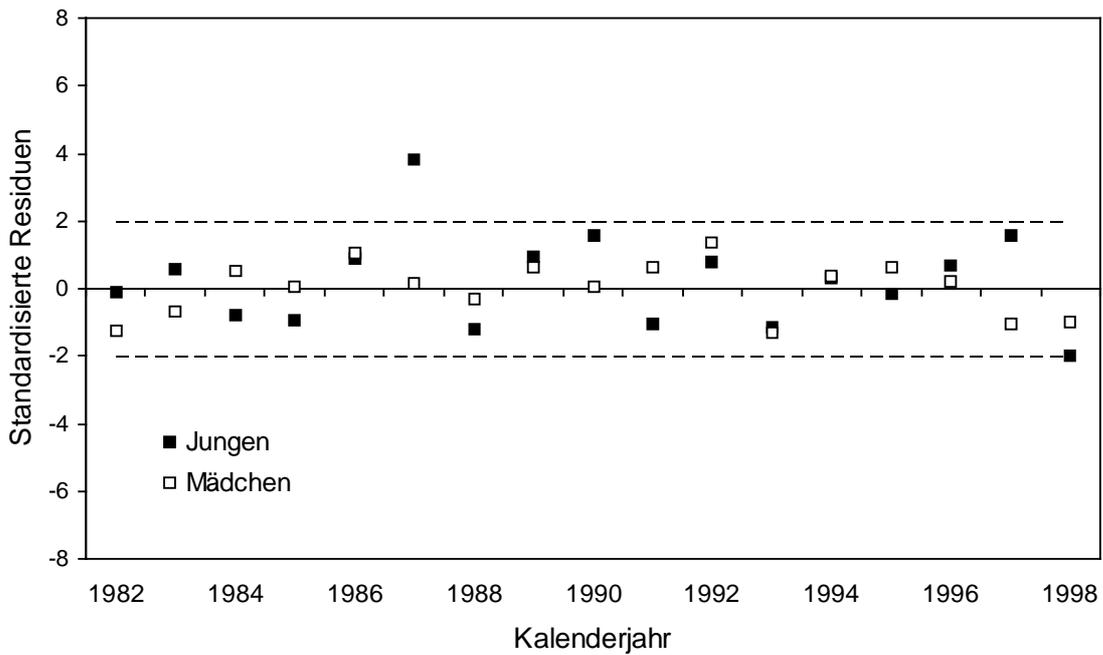


Abb.3: Abweichungen der Leukämieraten vom langjährigen Trend (standardisierte Residuen) bei Jungen und Mädchen für die zusammengefassten Daten aus der Studienregion (hauptbelastete Regionen um Tschernobyl) und der Vergleichsregion (Belarus ohne Gebiet Gomel). Die gestrichelten Linien kennzeichnen den Bereich von zwei Standardabweichungen. Aus [9].

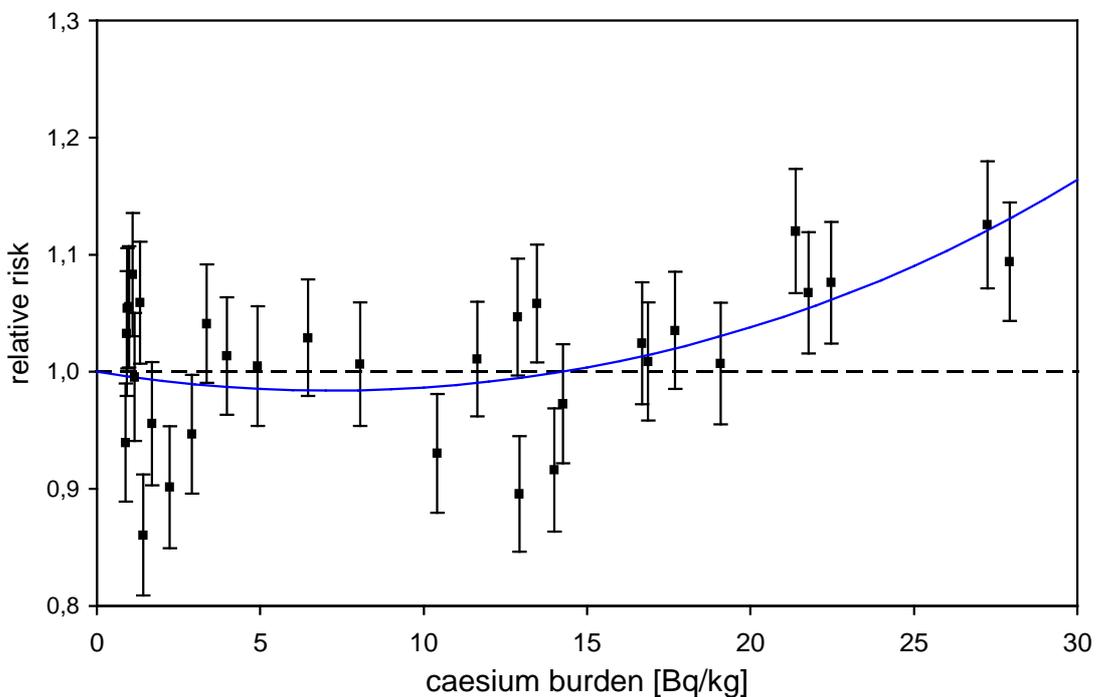


Abb.4: Zusammenhang zwischen den Monatsdaten der Perinatalsterblichkeit in Westdeutschland und der um 7 Monate verschobenen berechneten Cäsiumbelastung von schwangeren Frauen. Die blaue Linie ist das Ergebnis einer Regression mit einem linear-quadratischen Modell. Die Fehlerbalken zeigen die einfachen Standardabweichungen.

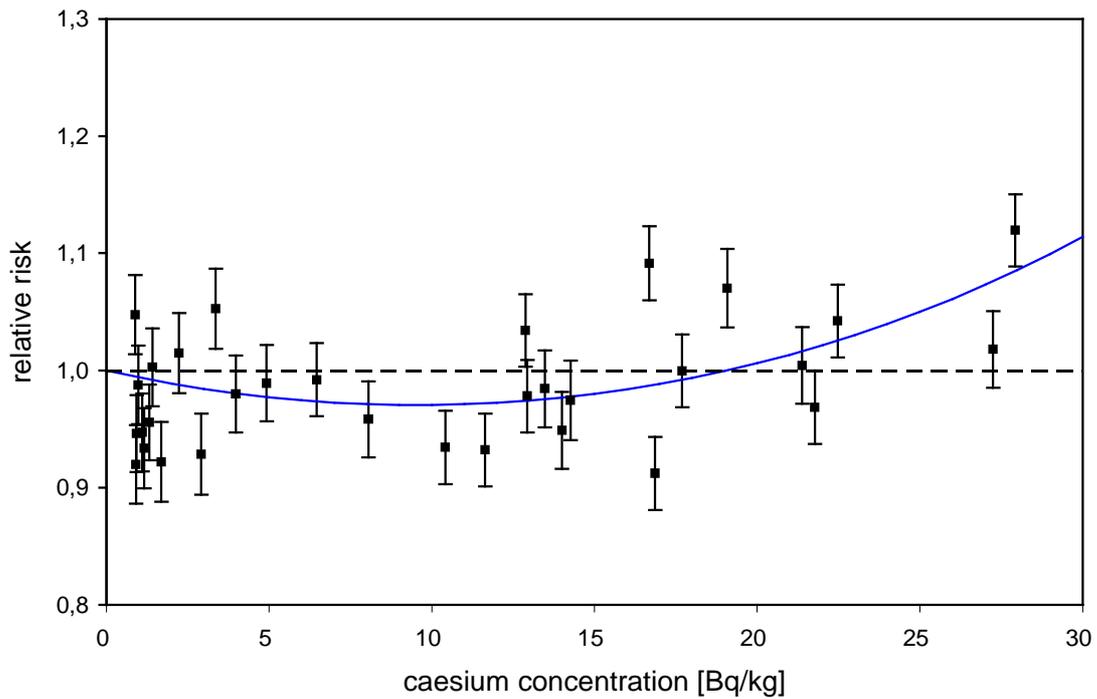


Abb.5: Zusammenhang zwischen den Monatsdaten der Säuglingssterblichkeit in Polen und der um 7 Monate verschobenen berechneten Cäsiumbelastung von schwangeren Frauen. Die blaue Linie ist das Ergebnis einer Regression mit einem linear-quadratischen Modell. Die Fehlerbalken zeigen die einfachen Standardabweichungen.

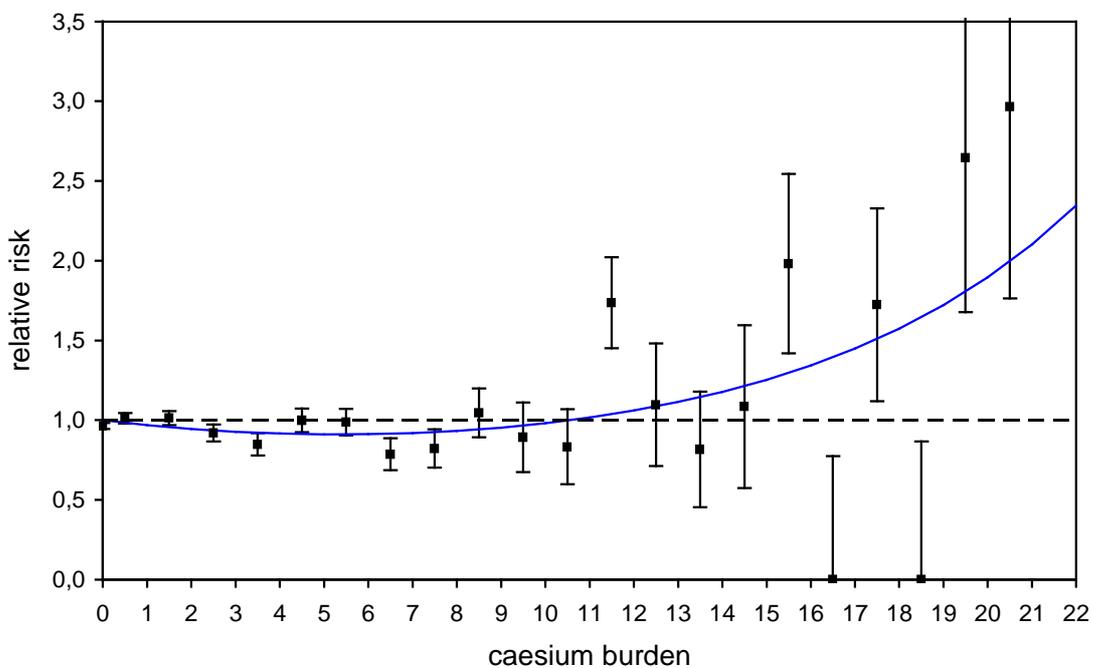


Abb.6: Zusammenhang zwischen Fehlbildungen in Bayern nach Tschernobyl und der um 7 Monate verschobenen berechneten Cäsiumbelastung (räumlich-zeitliche Analyse) von schwangeren Frauen. Die blaue Linie ist das Ergebnis einer Regression mit einem linear-quadratischen Modell. Die Fehlerbalken zeigen die einfachen Standardabweichungen.

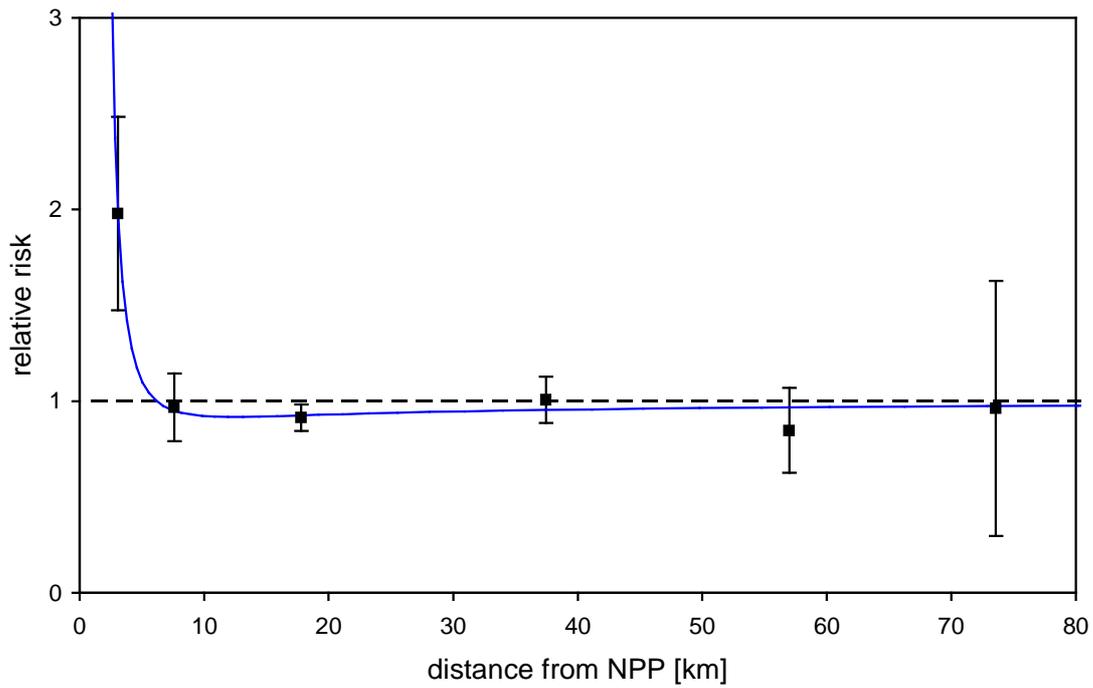


Abb.7: Relatives Leukämierisiko in den Entfernungszonen um deutsche Kernkraftwerke und Ergebnis einer Regression mit einem linear-quadratischen Abstandsmodell.

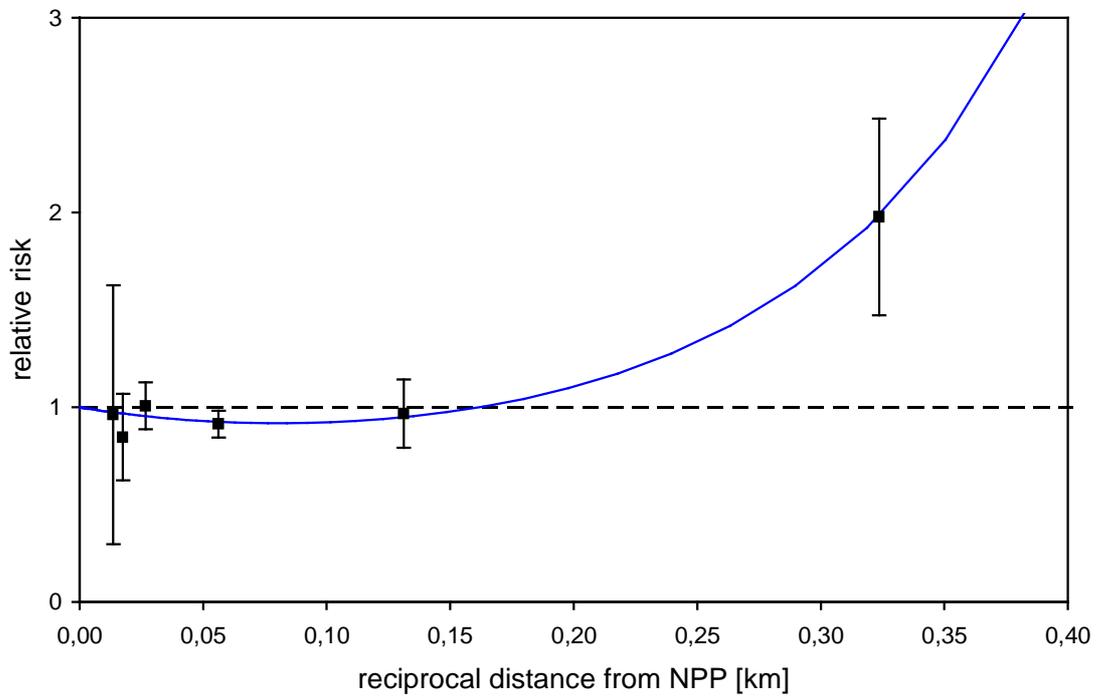


Abb.8: Relatives Leukämierisiko in den Entfernungszonen um deutsche Kernkraftwerke in Abhängigkeit vom reziproken Abstand. Die durchgezogene Linie ist das Ergebnis einer Regression mit einem linear-quadratischen Abstandsmodell.