

Unsichtbare Opfer der Atomkraftnutzung

Strahlende Arbeitsplätze und Umgebungskontaminationen

**Inge Schmitz-Feuerhake, Wolfgang Hoffmann,
Oda Becker und Karin Wurzbacher**

BASK Atom- und Strahlenkommission des BUND

September 2022

Vorwort

Liebe*r Leser*in,

wenn wir über die Risiken und Folgen der Atomkraft sprechen, denken wir zunächst an Tschernobyl, Fukushima, Nagasaki und Hiroshima, an havarierte „Endlager“ und an das ungelöste Atom-müllproblem. Die großen Katastrophen des Atomzeitalters haben sich in unser kollektives Gedächtnis eingebrannt. Dagegen weitgehend unbemerkt von der Öffentlichkeit, und kleingeredet von Atomlobby und Politik sind die Gefahren des regulären Betriebs von Atomkraftwerken. Schon der Beginn der für die Atomkraftnutzung notwendigen nuklearen Kette ist der Ausgangspunkt einer schleichenden Katastrophe.

Angefangen beim Uranabbau, über den AKW-Betrieb bis hin zum Abriss der AKW und der Lagerung der radioaktiven Abfälle verursacht Atomkraft entlang der gesamten Produktionskette radioaktive Emissionen. Wir sehen, spüren, hören, riechen die radioaktive Stoffe nicht – das macht sie zu einer nicht berechenbaren Gefahr. Krebs, Erbschäden, Herz-Kreislauf- und Stoffwechselerkrankungen gehören zu den bekannten Gesundheitsrisiken durch Niedrigstrahlung.

Die gesundheitlichen Folgen treten meist zeitversetzt auf, mitunter erst in der nächsten Generation. Deshalb blieb der Zusammenhang zwischen Erkrankung und Ursache lange Zeit unerkannt. Betroffene, die aufgrund ihres Berufes oder ihres Wohnortes verstärkt radioaktiver Strahlung ausgesetzt sind, kämpfen auch heute noch vergeblich um Anerkennung und Entschädigung.

Es ist das Verdienst unabhängiger Wissenschaftler*innen, dass wir heute Gewissheit über die durch radioaktive Emissionen verursachten Gesundheitsrisiken haben. Mit unermüdlichem Engagement haben die Wissenschaftler*innen, insbesondere die Mitglieder der BUND Atom- und Strahlenkommission, den Widerständen der Atomlobby getrotzt und die Zusammenhänge sichtbar gemacht. Die Konsequenz muss die rechtliche Anerkennung der Opfer und ihre Entschädigung durch die Atomindustrie sein. Gleichzeitig müssen radioaktive Emissionen möglichst vermieden und Grenzwerte entsprechend herabgesetzt werden.

Vorliegende Publikation ist ein wichtiger Beitrag zur Aufklärung über die Folgen radioaktiver Emissionen. In Form eines Erfahrungsberichtes und der Zusammenschau zahlreicher wissenschaftlicher Studien schenken die Autor*innen nicht nur einem Thema Aufmerksamkeit, das in den Betrachtungen über Atomkraft viel zu oft vergessen wird, sie rücken auch die Opfer der Atomindustrie ins Licht.

Wer heute über Atomkraft spricht, sollte auch diesen Teil der Wahrheit kennen.



Olaf Bandt

Vorsitzender des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)

Inhalt

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	4
Zusammenfassung.....	5
1. Einleitung	7
2. Strahlende Arbeitsplätze.....	8
2.1 Leiharbeiter in Deutschland	8
2.2 Neuere Erkenntnisse über Strahlenschäden bei Beschäftigten in der Kernindustrie	12
2.3 Beschäftigte im Uranbergbau und Erfahrungen in Deutschland.....	12
2.4 Die deutsche Uranbergarbeiterstudie	15
2.5 Schlussfolgerungen.....	17
3. Umgebungskontaminationen.....	18
3.1 Leukämiecluster bei deutschen Atomkraftwerken	18
3.2 Vierländerstudie zu frühkindlicher Leukämie bei Atomkraftwerken	23
3.3 Weitere Gesundheitsschäden in der Nähe deutscher Atomanlagen	25
3.4 Kontaminierte Landschaften durch den Uranabbau in Deutschland	35
3.5 Weitere Befunde in Großbritannien	36
3.6 Weitere Befunde in Frankreich	38
3.7 Normalbetrieb in den Vereinigten Staaten von Amerika	39
3.8 Normalbetrieb in Kanada	40
3.9 Normalbetrieb in der Sowjetunion/Russland.....	41
3.10 Normalbetrieb in Japan	42
3.11 Schlussfolgerungen	42
4. Strahlenschutz mit überholten Standards.....	43
5. Referenzen.....	49
6. Glossar	59

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Karte zur Lokalisation von 16 Fällen mit Akuter Leukämie bei Kindern unter 15 Jahren im 5 km-Umkreis des Atomkraftwerks Krümmel (KKK)	20
Abbildung 2: Leukämierisiko (standardisiertes Inzidenzverhältnis SIR) von Kleinkindern in der Umgebung von AKW in Deutschland (D), Großbritannien (GB), der Schweiz (CH) und Frankreich (F) in Abhängigkeit von der Entfernung zum AKW	25
Abbildung 3: Verlauf von Totgeburtenrate, Säuglingssterblichkeit und Kinderkrebsmortalität im Landkreis Bentheim nach Inbetriebnahme des AKW Lingen 1968	28
Abbildung 4: Standardisiertes Inzidenzverhältnis (SIR) von angeborenen Fehlbildungen in der Umgebung des AKW Grafenrheinfeld, 1984-1991,	32
Abbildung 5: Fehlbildungsrate in der Umgebung der AKW Philippsburg und Biblis im Zeitraum 2006-2008 in Abhängigkeit von der Entfernung	33
Tabelle 1: Niedersächsische Samtgemeinden mit statistisch erhöhter Inzidenz für Akute Leukämien bei Kindern 1984-1993	19
Tabelle 2: Relatives Leukämierisiko für Kinder < 5 Jahre im Nahbereich von Atomkraftwerken ..	24
Tabelle 3: Erhöhte Gesundheitsschäden bei Nuklearanlagen in Deutschland ohne Elbmarsch und KIKK-Studie	26

Danksagung

Wir danken Christina Hacker, Dr. Alfred Körblein und Jan Warode für die Durchsicht des Manuskripts und zahlreiche wertvolle Hinweise.

Kontakt

Oda Becker und Inge Schmitz-Feuerhake

Vorsitzende der BASK Atom- und Strahlenkommission des BUND

Angela Wolff

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)

Kaiserin-Augusta-Allee 5, 10553 Berlin

E-Mail: angela.wolff@bund.net

Telefon: + 49 30 275 86-562

Zusammenfassung

Erneut wird auch in Deutschland diskutiert, ob der Betrieb von Atomkraftwerken (AKW) eine Option zur Energieerzeugung sein könnte. Die Befürworter*innen halten die zukünftige Gefahr großer Unfälle durch neue Generationen von Reaktoren für vernachlässigbar und die sichere Endlagerung für unproblematisch. Strahlenwirkungen im Niedrigdosisbereich werden nicht befürchtet. Gesundheitliche Gefahren im „Normalbetrieb“ von Atomanlagen werden daher nicht beachtet. In diesem Bericht werden die gesundheitlichen Folgen der radioaktiven Strahlung an Arbeitsplätzen und für die Bevölkerung in der Umgebung von Atomanlagen aus ihrem normalen Betrieb dargestellt.

Hunderttausende von Arbeitskräften, vornehmlich Männer, waren und sind in der Kerntechnik beschäftigt, von der Gewinnung des Uranerzes in Bergwerken bis zur Stilllegung und dem Abriss von Atomkraftwerken. Kapitel 2 berichtet von den Bergleuten bei der SDAG Wismut in der ehemaligen DDR, dem vormals drittgrößten Uranabbaugebiet der Welt. Tausende erkrankten schwer und starben einen frühzeitigen Tod durch ihre Beschäftigung. Betroffene dieser Langzeitfolgen hatten und haben nur sehr geringe Chancen auf Kompensation. In Deutschland haben – wie auch anderswo – erkrankte Arbeitnehmer*innen aus historischen und strukturellen Gründen wenig Chancen auf Anerkennung einer strahlenbedingten Berufskrankheit. Ein besonderes Risiko tragen bis heute die Angestellten von Fremdfirmen in Atomanlagen, deren Anzahl im Vergleich zur Anzahl der Betriebsangestellten stets sehr hoch war. Deutschlands Ausstieg aus der Atomenergie bedeutet vorerst nicht, dass das Ende der Strahlenbelastung von Arbeitnehmer*innen absehbar ist. Bei den Abrissarbeiten stellt die Möglichkeit der Inkorporation von radioaktivem Staub ein besonderes Problem dar.

Die zahlenmäßig größten Studien zu den Auswirkungen von Strahlung erfolgten im Rahmen des Projektes INWORKS (International Nuclear Workers Study) an 308.297 überwachten Beschäftigten der Nuklearindustrie in Frankreich, Großbritannien und den USA (veröffentlicht 2015). In allen drei Ländern gab es ähnliche Ergebnisse: Die umfassenden Daten zeigen, dass auch niedrige radioaktive Strahlung ein Krebsrisiko verursacht.¹ Je höher die Strahlenbelastung war, desto mehr Menschen starben an Krebs.

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) hat in einer Stellungnahme zum neuen Strahlenschutzgesetz von 2017 nach dem Stand der strahlenepidemiologischen Forschung eine Senkung der Dosisgrenzwerte für strahlenexponierte Arbeitnehmer*innen um den Faktor 10 gefordert. Zur Begründung wurde auch darauf hingewiesen, dass neben Krebs und Leukämie eine Reihe weiterer Erkrankungen, wie z.B. gutartige Hirntumore und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, durch niedrige Strahlendosen erzeugt werden können. Außerdem hat der BUND die Nichtbeachtung des genetischen Strahlenrisikos sowie die Leugnung eines Strahlenrisikos für Embryonen und Föten im Mutterleib bei Strahlendosen unterhalb von 100 mSv kritisiert.

Kapitel 3 diskutiert die gesundheitlichen Folgen des Betriebs von Atomkraftwerken und anderen Atomanlagen für die in der Umgebung lebende Bevölkerung. Sowohl aus Deutschland als auch in-

¹ Entgegen früherer Annahmen zeigte sich, dass pro Dosis bei chronischer Niedrigdosisbestrahlung (wie sie an Arbeitsplätzen typisch ist) ein mindestens gleiches oder sogar höheres Mortalitätsrisiko für Krebserkrankungen als nach Kurzzeitbestrahlung (wie durch die Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki verursacht) besteht.

ternational gab es etliche wissenschaftliche Studien über Leukämieerkrankungen in der Umgebung von Atomanlagen. Ausgangspunkt waren häufig Beobachtungen von Anwohner*innen. Leukämie ist eine bekannte Strahlenfolge. Die Krankheit tritt normalerweise selten auf, besonders selten ist sie im Kindes- und Jugendalter.

Atomfreundliche Wissenschaftler*innen hatten die These aufgestellt, es gäbe vielfach lokale Leukämiecluster auf der Welt, ohne dass eine erkennbare Ursache vorliegen würde. Dieses vielbenutzte Argument erwies sich in der Folge als nicht haltbar. Den Höhepunkt der Debatte in Deutschland erreichte das Ergebnis der sogenannten KiKK-Studie 2007 (Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken). Bei dieser handelt es sich um eine Fall-Kontroll-Studie, die alle AKW im Zeitraum 1980-2003 in der BRD einbezog. Gefunden wurde eine um 60 Prozent erhöhte Krebsrate und eine um 118 Prozent signifikant erhöhte Leukämierate bei Kindern unter 5 Jahren im 5-km Nahbereich der Atomkraftwerke. Zudem nimmt im 15 km Radius mit zunehmender Wohnnähe zum AKW das Erkrankungsrisiko für frühkindliche Krebserkrankungen und Leukämie zu. Offiziell wurde und wird allerdings behauptet, Strahlung könne nicht die Ursache sein, weil die Dosis zu gering sei. Ähnliche Resultate wie bei den Kleinkindern in Deutschland zeigen Studien im Umkreis von 5 km um AKW in Großbritannien, der Schweiz und in Frankreich.

Auch außerhalb des Zeitraums, den die KiKK-Studie berücksichtigte, sowie bei anderen Atomanlagen wurden in Deutschland Gesundheitsschäden in der Umgebung beobachtet. Außerdem traten Fehlbildungen bei Neugeborenen auf und es wurden Erhöhungen der perinatalen Sterblichkeit registriert.

Weitere Beispiele aus anderen Ländern bilden das Leukämiecluster bei der britischen Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoffe Sellafield (entdeckt 1984), bei der französischen Wiederaufarbeitungsanlage La Hague sowie Befunde aus den USA, Kanada, Russland und Japan.

Im Kapitel 4 werden die politischen Randbedingungen für die Bewertung der Strahlenfolgen diskutiert. Deutschland ist Mitglied der europäischen Atomgemeinschaft EURATOM, die der Förderung der Atomenergie dient, und daher vertraglich gebunden. Aber Mitgliedsländer haben nach EU-Recht auch die Möglichkeit, aus gesundheitlichen Überlegungen strengere Grenzwerte zu erlassen. Diese Chance wird im Ausstiegsland Deutschland nicht genutzt. Stattdessen erfolgt eine rückwärtsgewandte Aufweichung der Strahlenschutznormen.

Die oben genannten Forderungen des BUND von 2017 bezüglich eines besseren Strahlenschutzes für Arbeitnehmer*innen und Bevölkerung sind unverändert aktuell. Sie müssen zur Kenntnis gebracht und ihre Durchsetzung erkämpft werden.

Bei der notwendigen Berücksichtigung der Gefahr eines schweren Unfalls in einem Atomkraftwerk darf nicht vergessen werden, dass eine Gefährdung bereits durch den sogenannten Normalbetrieb eines Atomkraftwerks für die Bevölkerung und die Beschäftigten besteht. Diese Gefährdung setzt sich während der Stilllegung der Atomanlagen und bei Transport und Lagerung der radioaktiven Abfälle weiter fort. Diese Gefahren müssen auch bei der Risiko-Nutzen-Abwägung für die aktuell diskutierten Laufzeitverlängerungen bzw. einem erneuten Ausstieg aus dem Ausstieg berücksichtigt werden.

1. Einleitung

Die Nutzung der Atomenergie wird in der aktuellen Debatte um Versorgungssicherheit in einigen wirtschaftlichen und politischen Kreisen als notwendige Option zur Energieerzeugung angesehen. Befürworter*innen berufen sich dabei unter anderem auf das Strahlenkomitee der Vereinten Nationen (UNSCEAR) und die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP), nach deren Meinung die Reaktorunfälle von Tschernobyl und Fukushima keine nennenswerten Gesundheitsschäden in den betroffenen Bevölkerungen erzeugt haben. Befürworter*innen einer weiteren Nutzung der Atomenergie halten die zukünftige Gefahr großer Unfälle durch neue Generationen von Reaktoren für vernachlässigbar und die sichere Endlagerung für unproblematisch.

Diese Haltung hat in der Atomdiskussion eine lange Tradition. Schädliche Emissionen und ihre Folgen wurden offiziell stets bestritten oder relativiert und der Strahlenschutz von Arbeitnehmer*innen weitgehend der Obhut der jeweiligen Betreiber überlassen.

In Deutschland verhandelte die Rot-Grüne Koalition 2001 den Ausstieg aus der Atomenergie bis 2021. Im September 2010 widerrief die schwarz-gelbe Regierung unter Angela Merkel den Konsens und beschloss eine deutliche Laufzeitverlängerung. Nur sechs Monate später beschloss diese Koalition angesichts der Reaktorkatastrophe von Fukushima 2011, den Ausstieg wieder vorzuziehen. (Die endgültige Abschaltung der letzten drei Reaktoren erfolgt laut Atomgesetz am 31.12.2022. Aktuell wird jedoch eine Laufzeitverlängerung aufgrund der von Russland verursachten Gasknappheit diskutiert.) Kanzlerin Merkel vergaß jedoch nicht zu betonen, dass die Atomkraftwerke in Deutschland zu den sichersten Atomkraftwerken der Welt gehören. Worauf diese Behauptung beruhte, blieb im Dunkeln. Den Erfahrungen von unabhängigen Expert*innen entspricht sie nicht.

Die sogenannte „friedliche“ Nutzung der Atomenergie wurde im Jahr 1955 auf der Genfer Atomkonferenz durch den U.S.-amerikanischen Präsidenten Eisenhower ausgerufen und den Industrienationen empfohlen. Diese verbanden damit großenteils auch den möglichen Zugriff auf die Atombombe, so dass der „Normalbetrieb“ von Atomkraftwerken wegen der Herstellungsmöglichkeit von spaltbarem Material für den militärischen Einsatz nicht von diesem Anwendungszweck getrennt gesehen werden kann. Dennoch soll jenseits der großen Umweltkontaminationen durch atomare Tests, die von Befürworter*innen ausschließlich der Vergangenheit zugeschrieben werden, und der bekannten großen Unfälle in Atomanlagen, die von Befürworter*innen in Zukunft durch neue Technologien für vermeidbar gehalten werden, in diesem Beitrag auf die nicht beachteten Schäden durch Krankheit und Tod eingegangen werden. Diese Schäden, resultierend durch die Gewinnung und Verarbeitung des Uranerzes als Kernbrennstoff, beim Betrieb und später beim Rückbau der Atomreaktoren bis zur Entsorgung des Atommülls, sind bei den damit umgehenden Menschen eingetreten und werden auch weiterhin noch eintreten (Kapitel 2).

Außerdem werden die Erfahrungen – vornehmlich aus Deutschland – über die Opfer offensichtlich unvermeidlicher Radioaktivitätsabgaben an die Umgebung beim Normalbetrieb von Atomkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen für betroffene Bevölkerungsgruppen dargestellt (Kapitel 3).

Ein weiterer Gesichtspunkt ist die offizielle Verharmlosung von Strahlenfolgen im Interesse der Atomindustrie, die zur Unterschätzung des Risikos bei allen anderen Anwendern ionisierender Strahlung und damit zur weitgehend unbeabsichtigten Erzeugung von unnötigen Strahlenopfern führt. Dieses wird in Kapitel 4 dargelegt anhand einer Kritik der Angaben zum Strahlenrisiko durch die Internationale Strahlenkommission ICRP, die der deutschen Strahlenschutzgesetzgebung zu Grunde liegen.

Der Bund für Umwelt- und Naturschutz e.V. (BUND) hat die deutsche Anti-Atom-Bewegung seit seiner Gründung unterstützt. Autorinnen und Autor dieses Beitrages sind Mitglieder der Atom- und Strahlenkommission des BUND (BASK). Sie widmen diese Zusammenstellung von Argumenten gegen den weiteren Einsatz einer lebensfeindlichen Technologie all denjenigen Opfern, denen sie durch ihr Engagement nicht helfen konnten.

2. Strahlende Arbeitsplätze

2.1 Leiharbeiter in Deutschland

David Kralik, ein Techniker aus Hamburg, erkrankte 1983 im Alter von 33 Jahren an einer chronisch myeloischen Leukämie (CML). Er war im Zeitraum von Juni 1976 bis April 1977 regelmäßig als Leihkraft mit Reparaturarbeiten bei Probeläufen des AKW Brunsbüttel beschäftigt gewesen. Er wurde dabei mehrfach äußerlich mit Radionukliden kontaminiert und musste dann jeweils so lange duschen, bis der Kontrollmonitor nicht mehr ansprach. Er hat bei der Arbeit Filmplaketten und optische Dosimeter getragen. Als er eine Berufskrankheit (BK) anmeldete, waren Originalaufzeichnungen der Dosismessungen und sein Strahlenpass nicht auffindbar. Nach längerem Hin und Her legte die behördliche Strahlenmessstelle in Hamburg eine Kopie vor, in der eine Gesamtdosis von $<0,2$ rem, entsprechend <2 mSv, bescheinigt wurde (der Dosisgrenzwert für beruflich Strahlenexponierte betrug damals 5 rem = 50 mSv pro Jahr). Natürlich war die Wahrscheinlichkeit hoch, dass David Kralik auch Radioaktivität in den Körper aufgenommen hatte. Diese wird jedoch mit den Standarddosimetern nicht erfasst. Anstrengungen, eine mögliche Inkorporation zu überprüfen, wurden nicht unternommen.

CML ist seit langem als typische Strahlenfolge bekannt. Bei Nichtexponierten tritt die Erkrankung in der Altersklasse 30-34 Jahre äußerst selten auf. Nach dem Hamburger Krebsregister ist dort in den Jahren 1972-1974 in dieser Altersklasse nur ein Mann an CML erkrankt (Inzidenzdaten aus den späteren 1970er und 1980er Jahren liegen für Hamburg nicht vor). Mit der entsprechenden mittleren männlichen Bevölkerung von 78.118 Personen entspricht das einer Inzidenz von 0,43 Fällen pro 100.000 pro Jahr (Statistisches Landesamt Hamburg 1976). Die Wahrscheinlichkeit des Spontanvorkommens der CML bei David Kralik in einer Zeitspanne von 5 Jahren betrug also nur etwa $5 \times 0,43 \times 10^{-5} = 0,0215$ Promille. Die Berufsgenossenschaft (BG) Feinmechanik und Elektrotechnik lehnte dennoch eine Anerkennung als BK ab. David Kralik klagte beim Sozialgericht Lübeck und verlor. Das Gericht berief sich auf den Gutachter Prof. Streffer aus Essen. Dieser hielt eine Dosis

von 4 mSv (0,4 rem) für möglich und schloss daraus, dass keine hinreichende Wahrscheinlichkeit für eine Strahlenursache bestehe.

David Kralik war nach Chemotherapie nicht mehr arbeitsfähig und geriet in Geldschwierigkeiten.² Seine Freundin verließ ihn. Er nahm noch an einem Forschungsprojekt des Krebsforschungszentrums Heidelberg zur Behandlung von Leukämieerkrankungen bei Erwachsenen teil. Leider vergeblich, er starb im Alter von 36 Jahren.

Prof. Streffer aus Essen ist bis heute ein vielbeschäftigter Gutachter der Berufsgenossenschaften in Verfahren zu Berufserkrankungen durch ionisierende Strahlung.

Nekati Demirci, ein türkischer Gastarbeiter, erkrankte 1988 im Alter von 42 Jahren an einem Lungenkarzinom. Er hatte von Mai 1983 bis Juni 1986 als Leiharbeiter in verschiedenen kerntechnischen Anlagen der Firma KWU (Kraftwerk Union) gearbeitet und vornehmlich Reinigungsarbeiten in radioaktiv kontaminierten Gebäuden, Laboren und deren Inventar (Fässer und andere Behälter für radioaktive Stoffe) ausgeführt. Laut Strahlenpass hatte er bis Januar 1987 eine Gesamtkörperdosis von 760 mSv (76 rem) erhalten. 1985 musste er die Arbeiten unterbrechen, da eine zu hohe Kontamination seines Körpers bestand. Im April 1988 wurde ihm wegen Arbeitsverweigerung gekündigt, nachdem der Verdacht aufgekommen war, dass sein sich verschlechternder Gesundheitszustand auf die Verstrahlung zurückzuführen sei.

Im Rahmen einer Klage gegen den Arbeitgeber wurden Ende 1988 verschiedene Messungen über die persönliche Nuklidbelastung von Nekati Demirci im Radioaktivitätslabor der Universität Bremen durchgeführt. Dieses Labor verfügte über einen Ganzkörperzähler. Nachdem er sich darin bekleidet niedergelegt hatte, wurde eine Radioaktivität von 20.000 Bq³ Cäsium-137 (ein typisches Spaltprodukt) gemessen. Es stellte sich heraus, dass diese Kontamination an seinem Hosengürtel vorhanden war und nicht in seinem Körper, was eine zuverlässige Ein- und Ausgangskontrolle der Mitarbeiter bei der Firma KWU bezweifeln ließ.

Nach der Krebsoperation stellte die Thoraxklinik Heidelberg-Rohrbach eine Probe aus dem entfernten Lungengewebe des Patienten zur Verfügung. In dieser Probe wurden das Transuran Americium 241 (Folgeprodukt des Reaktorisotops Plutonium 241) sowie langlebige Plutoniumisotope nachgewiesen. Der Gehalt der Plutoniumisotope entsprach etwa dem 160-fachen des Normalvorkommens, das durch den Fallout der oberirdischen Atomtests im Gewebe der Menschen verursacht wurde. Eine Entschädigung durch den Arbeitgeber oder Anerkennung einer Berufskrankheit erfolgte dennoch nicht. Die Argumente der Gutachter*innen Kuni und Schmitz-Feuerhake wurden vom Gericht nicht anerkannt. Der Physiker Alexander Kaul vom Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamts gutachtete, Demircis Krebs sei nicht strahlenbedingt und die zulässige Jahresdosis sei nicht überschritten worden. Er sei starker Raucher gewesen. Aber auch Raucher bekommen in einem so frühen Alter normalerweise noch keinen Lungenkrebs. Zudem ist Rauchen bei Arbeitnehmer*innen nicht verboten und eine vorgeschädigte Lunge ist strahlenempfindlicher.

² Er verstrickte sich mit einem Freund in ein Betrugsvorhaben und wurde verurteilt.

³ Becquerel (Bq) Einheit der Strahlungsintensität 1 Bq= 1 Zerfall pro Sekunde

Der Fall erregte großes öffentliches Interesse, insbesondere, weil sich Eduard Bernhard vom Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz (BBU) sehr stark für Demirci einsetzte. Dieser starb im Alter von 48 Jahren in Istanbul. Der BBU verlangte vergeblich eine Exhumierung des Körpers zur Feststellung der aufgenommenen Radioaktivität.

Der Journalist Günter Wallraff widmete sich in seinem Buch „Ganz unten“ (Erstauflage 1985) auch der Situation von Gastarbeitern in der Kerntechnik. In seiner Rolle als Türke „Ali“ traute er sich allerdings wegen bereits angegriffener Gesundheit selbst nicht mehr an die strahlenden Arbeitsplätze, sondern interviewte türkische Leiharbeiter, die im AKW Würgassen (NRW) gearbeitet hatten. Ausländische Leiharbeiter wurden bevorzugt bei Reparaturen oder Revisionen (regelmäßige Wartungen) eingesetzt, wenn der Aufenthalt nur für kurze Zeit genehmigt werden konnte, bevor die zulässige Jahresdosis 50 mSv erreicht wurde. Die Arbeiter wurden dann entlassen und suchten uninformiert oder auch ungeachtet des Risikos weitere Beschäftigungen an anderen Standorten. Mehrfach wurde auch berichtet, dass die zu tragenden Dosimeter beiseitegelegt wurden, um den relativ gut bezahlten Arbeitsplatz nicht zu verlieren. Andere Arbeiter kehrten zurück in ihre Heimatländer, so dass insgesamt kein genauer Überblick über die Anzahl der Personen und ihre Strahlenbelastung zu Stande kam. Laut Interview mit dem zuständigen Vorarbeiter im AKW Würgassen hielt der Subunternehmer etwa 2500 Leiharbeiter bereit.

Wolfgang Hoffmann (1999) ermittelte aus Angaben des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS), dass 75% der Beschäftigten in den deutschen AKW in den Jahren 1980-1997 Leiharbeiter waren und im Durchschnitt etwa 70% höhere Dosen als Beschäftigte des AKW erhielten. Einer Antwort der Bundesregierung aus dem Jahr 2011 auf eine Kleine Anfrage der Fraktion die Linke zu Folge war die durchschnittliche Jahresdosis für die Leiharbeiter seit 1992 konstant deutlich höher als die durchschnittliche Dosis des Eigenpersonals, und zwar um etwa 80% (Bundestagsdrucksache 17/6031 vom 1.8.2011, siehe auch Strahlentelex 2013).

Erst ab 1995 wurden die Bedingungen für Leiharbeiter verbessert. Das betraf allerdings nur die Registrierung der Personen und die Archivierung der Personendosiswerte, dadurch, dass beim BfS ein zentrales Strahlenschutzregister angelegt wurde. Nicht geändert wurde die Einschätzung der Strahlenfolgen, die sich bis heute auf Beobachtungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki im Jahr 1945 stützt. Auch die Nicht-Anerkennungspraxis der Berufsgenossenschaften, nicht nur bei Leiharbeitern, setzt sich bis heute fort (Schmitz-Feuerhake et al. 2021a).

Die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP, die die normgebende Institution auch für die deutsche Strahlenschutzgesetzgebung ist, hatte in den 1970er Jahren drei Effekte genannt, die beim Menschen im Niedrigdosisbereich zu erwarten wären: strahlenbedingter Krebs, genetische Schäden bei den Nachkommen nach Bestrahlung eines Elternteils und *in utero* erzeugte Schäden in der Präimplantationsphase, am Embryo und am Fötus. Letztere würden sich durch Absterben der Frucht, Fehlbildungen am Skelett und den Organen sowie Kindstod äußern. Für die *in utero* erzeugten Effekte hielt die ICRP eine Mindestdosis für erforderlich (früher 50 mSv, aktuell 100 mSv). Für die ersten beiden Strahleneffekte definierte die ICRP das Prinzip des „stochastischen Schadens“. Das heißt, man geht davon aus, dass ein einziges Strahlenquant eine Zelle mutieren

lassen kann. Im Fall einer Körperzelle – man spricht von einer „somatischen“⁴ Mutation – kann dies zum Entstehen einer unkontrollierten Wucherung führen (Krebs), im Fall einer Keimzelle zu einer Schädigung der späteren Nachkommen.

Danach gibt es für Krebs und genetische Schäden keinen sicheren Dosisbereich und keine unschädliche Dosischwelle. Tatsächlich kann auch bei der niedrigsten Dosis ein Strahlenschaden ausgelöst werden, nur die Wahrscheinlichkeit des Auftretens ist entsprechend niedriger als bei höheren Dosen. Dosisgrenzwerte können folglich den Schaden nicht ausschließen, sondern nur begrenzen. Alexander Kaul (Präsident des Bundesamts für Strahlenschutz 1989-1999) und andere anerkannte Experten sprachen diesbezüglich lange Zeit von einem „hypothetischen“ Risiko, in dem Sinne, dass es vermutlich gar nicht existiere. Denn man könne es niemals beweisen, da Effekte innerhalb der zulässigen Dosisgrenzwerte – also auch die im Berufsbereich – so klein seien, dass man sie statistisch nicht nachweisen könne. Diese Einschätzung hat sich allerdings als Irrtum herausgestellt, wie z.B. die INWORKS Studie 2015 belegte (siehe unten).

2020 waren laut BfS ca. 17.000 Personen als Beschäftigte in der deutschen Kernindustrie registriert. Deutschlands Ausstieg aus der Atomenergie bedeutet vorerst nicht, dass das Ende der Verstrahlung von Arbeitnehmer*innen absehbar ist. Die Möglichkeit der Inkorporation von radioaktivem Staub stellt ein besonderes dosimetrisches Problem dar (s. Kap.3.1), das sich durch den inzwischen begonnenen Abbruch von Atomanlagen noch verschärfen wird. Die Beschäftigten haben es bei der Dekontamination solcher Anlagen mit offener Radioaktivität zu tun.

Prof. Rainer Frentzel-Beyme wurde als medizinischer Gutachter zufällig mit drei Fällen von Leiharbeitern befasst, die in Hanau bei NUKEM mit dem Abriss einer Anlage für die Herstellung von MOX-Brennelementen beschäftigt waren. MOX-Brennelemente bestehen aus einem Mischoxidmaterial, das außer Uran auch das besonders gefährliche Plutonium enthält. Alle drei Arbeiter waren nach ihrer Tätigkeit an einem Non-Hodgkin-Lymphom erkrankt, und zwar im frühen Alter von 46, 49 und 52 Jahren (Frentzel-Beyme et al. 2020). Diese Krebskrankheit gilt normalerweise als typische Alterskrankheit jenseits des 70. Lebensjahres und gehört offiziell in Deutschland zu solchen mit geringem Strahlenrisiko. Sie tritt aber typischerweise bei Nukleararbeitern auf (Richardson et al. 2009; Schmitz-Feuerhake et al. 2021b). Bei den drei betroffenen Beschäftigten lässt sich anhand der dosimetrischen Angaben nachweisen, dass sie sich in einer plutoniumhaltigen Atmosphäre aufgehalten haben (Wolff et al. 2018). Die zugehörige BG ETEM⁵ streitet jedoch jedweden Zusammenhang ab. Im Mai 2019 hat die BG ETEM eine Pressemitteilung inklusive Videolink „Rückbau von Kernkraftwerken: Arbeitsschutz frühzeitig einplanen“ in Form eines Interviews veröffentlicht. Fragen dazu beantwortet der Leiter des Fachgebiets Strahlenschutz der BG ETEM Thomas Ludwig, der keine Defizite in der bisherigen Handhabung oder mangelnde Vorsorge erkennen kann (BG ETEM 2021).

⁴ Soma (griechisch) Körper

⁵ Energie, Textil, Elektro, Medienerzeugnisse

2.2 Neuere Erkenntnisse über Strahlenschäden bei Beschäftigten in der Kernindustrie

Seit den 1990er Jahren wurden in umfangreichen epidemiologischen Studien bei beruflich strahlenexponierten Arbeitnehmer*innen innerhalb der gesetzlichen Dosisgrenzwerte signifikant erhöhte Krebsraten beobachtet: Auch Erkrankungen, die vorher nicht als Strahlenfolge bekannt waren, traten häufiger als erwartet auf. Die Kinder der strahlenexponierten Arbeitnehmer*innen hatten vermehrt angeborene Fehlbildungen (Wiesel et al. 2016; BUND 2017).

Die zahlenmäßig bisher größten Studien erfolgten im Rahmen des Projektes INWORKS (International Nuclear Workers Study) an 308.297 überwachten Beschäftigten der Nuklearindustrie in Frankreich, Großbritannien und der USA. An der Untersuchung über die Mortalität durch maligne solide Tumoren waren neun internationale Forschungsinstitute beteiligt (Richardson et al. 2015). Die mittlere akkumulierte Organdosis (Darm) wurde zu 20,9 mGy (Median 4,1 mGy)⁶ bestimmt. Entgegen früherer Annahmen zeigte sich, dass pro Dosis bei chronischer Niederdosisbestrahlung (wie sie an Arbeitsplätzen typisch ist) kein geringeres Mortalitätsrisiko als nach Kurzzeitbestrahlung (wie in Hiroshima und Nagasaki) besteht. Zahlreiche Untersuchungen im Berufsmilieu über Spätschäden an einzelnen Organen ergaben deutlich höhere Strahlenrisiken als bei den japanischen Atombombenüberlebenden (Mämpel et al. 2015; Frentzel-Beyme et al. 2020; Kuni 2021). Letztere bilden jedoch nach wie vor das Referenzkollektiv (BfS 2022a; Ulanowski et al. 2020). Das bedeutet bezüglich der Anerkennung einer BK, dass die Dosis im Bereich einiger Sv (entsprechend einiger 1000 mSv) liegen muss, also deutlich oberhalb des in Deutschland geltenden Grenzwerts für die Gesamtdosis von 400 mSv für beruflich Strahlenexponierte.

Der BUND hat in einer Stellungnahme zum neuen Strahlenschutzgesetz von 2017 auf Grund der neuen strahlenepidemiologischen Erkenntnisse eine Senkung der Dosisgrenzwerte für strahlenexponierte Arbeitnehmer*innen um den Faktor 10 gefordert (BUND 2017). Zur Begründung hat er darauf hingewiesen, dass eine Reihe weiterer Erkrankungen wie zum Beispiel gutartige Hirntumore und Herz-Kreislauf-Erkrankungen auch durch niedrige Strahlendosen erzeugt werden. Außerdem hat der BUND die Nichtbeachtung eines genetischen Strahlenrisikos für die Nachkommen kritisiert sowie die Annahme einer unschädlichen Uterusdosis in Höhe von 100 mSv bei Schwangeren.⁷

2.3 Beschäftigte im Uranbergbau und Erfahrungen in Deutschland

Für den Betrieb der AKW wird viel spaltbares Material benötigt. Deshalb stellen die Bergleute, die vornehmlich unter Tage das benötigte Uranerz abbauen, auch in der öffentlichen Wahrnehmung eine besonders belastete Beschäftigtengruppe dar. Uranbergarbeiter*innen sind neben der erschwerten körperlichen Arbeit auch einer unvermeidbaren Strahlenexposition ausgesetzt. Heute liegen die hauptsächlich genutzten Lagerstätten in den sogenannten Entwicklungsländern. In den sogenannten hochentwickelten Industrienationen besteht häufig kein Bewusstsein mehr für die oft

⁶ 1 mGy (Milligray) entspricht bei Röntgen- u. Gammastrahlung 1 mSv (Millisievert), der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung beträgt 1 mSv pro Jahr; für beruflich strahlenexponierte Personen 100 mSv in 5 Jahren.

⁷ Dieser Kritik hat sich politisch nur die Fraktion der Linken im Bundestag angeschlossen (Deutscher Bundestag 2017).

menschenverachtende Ausbeutung und die arbeits- und umweltbedingten Gesundheitsschäden durch den Uranabbau (Uranatlas 2022).

In Deutschland sind im Strahlenschutzregister des BfS keine Uranbergarbeiter*innen enthalten. Bis heute gibt es aber eine Altlast aus der DDR zu handhaben, denn im Jahr 1946 wurde durch das sowjetische Militär der Abbau von Uran in Ostdeutschland angeordnet. In Sachsen und Thüringen entstand das drittgrößte Uranfördergebiet der Welt, das später von der sowjetisch-deutschen Gesellschaft SDAG Wismut betrieben wurde. Das Gelände ging nach dem Ende der DDR in den Besitz der Bundesrepublik über. Die Förderung wurde 1990 wegen Erschöpfung der Uranflöze und Unwirtschaftlichkeit des Weiterbetriebs eingestellt. Die Sanierungsaufgaben wurden dem Bundeswirtschaftsministerium übertragen, die notwendigen Mittel dazu aus dem Bundeshaushalt bereitgestellt.

Die SDAG WISMUT hatte bis dahin insgesamt etwa 600.000 Bergleute und andere Personen beschäftigt. Bis 1990 waren unter ihnen etwa 14.500 Silikosen und 5.500 Lungenkrebsfälle in der DDR als Berufserkrankungen anerkannt worden (Koppisch & Otten 2005). Mit dem Ende der SDAG Wismut war das Auftreten von Krankheiten jedoch naturgemäß nicht beendet. Die Kompensation der Folgen von BK wurde den gewerblichen Berufsgenossenschaften übertragen. Nach Auskunft der Bundesregierung vom 27.06.2019 auf die Kleine Anfrage von Abgeordneten und Fraktion von Bündnis 90/Die Grünen zum Wismut-Uranabbau und damit verbundenen Erkrankungen wurden in den Jahren 1991-2017 etwa 4.200 Fälle als BK 2402 („Erkrankungen durch ionisierende Strahlen“) anerkannt und etwa 7.100 abgelehnt (Deutscher Bundestag 2019).

Typische Folgeerkrankungen der Tätigkeit im Uranbergbau sind Lungenkrebs, der auf das eingeatmete Radon in den Stollen zurückgeführt wird, und Lungenfibrose, die durch eine Kombinationswirkung von Radon und Erzstaub verursacht wird. Ein Lungenkrebs wird in der BRD nur dann ohne weitere Gutachterbemühungen als BK anerkannt, wenn die Lungendosis so hoch ist, dass sie, aus der Radonexposition abgeleitet, den Wert 20 Sv (!) überschreitet. Als Bewertungsgrundlage für den Dosiswirkungszusammenhang bezogen sich die BG bis 2021 auf ein bereits 1992 erstelltes Gutachten von Prof. Wolfgang Jacobi, Physiker und langjähriges SSK⁸- sowie ICRP-Mitglied (Jacobi I, 1992). Der Autor und seine Mitarbeiter Henrichs und Barclay führten in ihrer Modellrechnung u.a. fälschlich einen starken Rückgang des Lungenkrebsrisikos mit der Zeit nach der Exposition ein. Dadurch hatten Bergleute, die nach der deutschen Wiedervereinigung erkrankten, praktisch keine Chance mehr auf Kompensation (Schmitz-Feuerhake & Pflugbeil 2008). Tatsächlich können die Latenzzeiten für strahleninduzierten Lungenkrebs aber mehrere Jahrzehnte betragen.

Bezüglich Krebserkrankungen außerhalb der Lunge gutachtete Jacobi ebenfalls (Jacobi II, 1995). Danach bedurfte es extrem hoher Organdosen für die Anerkennung als BK, obwohl eine Reihe derartiger Erkrankungen bei Uranbergarbeitern gut dokumentiert ist. Bei Lungenfibrosen wird eine Lungendosis von mindestens 12 Sv zur Anerkennung verlangt, die Herkunft dieses hohen Schwellenwertes ist wissenschaftlich nicht nachvollziehbar (Schmitz-Feuerhake & Pflugbeil 2010).

⁸ SSK= Strahlenschutzkommission. Sie berät das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) in allen Angelegenheiten des Schutzes vor ionisierenden und nichtionisierenden Strahlen.

Zur Frage, ob eine BK 2402 vorliegt, muss nach Berufskrankheitenverordnung (BKV) im Individualfall die Dosis des betroffenen Organs bekannt sein. Solche Daten lagen aber für die WISMUT-Beschäftigten nicht vor. Vor 1971 gab es keine Ortsdosimetrie, d.h. keine Ermittlung der Strahlenexposition am Arbeitsplatz (Eigenwillig 2000). Um dennoch eine Handhabe zur Beurteilung von Schädigungen zu haben, wurden in einem Forschungsvorhaben die Arbeitsbedingungen retrospektiv beurteilt und die Strahlendosen für verschiedene Tätigkeiten in der WISMUT nachträglich abgeschätzt. Das Ergebnis ist eine sogenannte „Job-Exposure Matrix (JEM)“. Diese soll angewendet werden, wenn bestimmte Informationen über die Arbeitstätigkeit bekannt sind, die mit der Strahlenexposition zusammenhängen. Aus der JEM ergibt sich eine Strahlenbelastung, die für den Durchschnitt der jeweiligen Beschäftigtengruppe gelten soll. In Abhängigkeit von arbeitsbedingten und individuellen Faktoren kann die berufsbedingte Strahlenexposition für den Arbeitnehmer im Einzelfall erheblich vom JEM-Wert abweichen. In der Einleitung des Abschlussberichtes (Lehmann et al. 1998) stellen die Autoren Folgendes klar:

„Wie aus den Ausführungen für die Ermittlung der äußeren Exposition durch Gammastrahlung und der inneren Strahlenexposition infolge der Inhalation von Radon/Radon-Folgeprodukten und langlebigen Radionukliden im Schwebstaub hervorgeht, liegen bis 1990 keine verwendbaren Individualdosen für die Beschäftigten im untertägigen und übertägigen Bergbau und in den Aufbereitungsbetrieben vor. Expositionen für den Zeitraum fehlender Messungen müssen mit Hilfe von Modellen abgeleitet werden. Vorliegende Ergebnisse von Strahlungsmessungen sind entweder nur Einzelmessungen oder nur noch in zusammengefasster Form verfügbar. Ferner wurden Betriebsstörungen (z.B. bei der Bewetterung) nicht erfasst und damit nicht berücksichtigt. **Daher wird von einer Ermittlung von Vertrauensbereichen abgesehen.**“⁹

Dennoch wird das Ergebnis dieses Verfahrens bei dem jeweils Betroffenen wie eine exakte Größe gehandelt und trotz unbekannter Fehlergrenzen von den Berufsgenossenschaften als entscheidende Dosis für die Ableitung der Verursachungswahrscheinlichkeit benutzt. Es handelt sich also keinesfalls um eine individuelle Nachbildung der Bestrahlungssituation, sondern vielmehr um Mittelwerte, die für jeweils sehr ausgedehnte Bereiche eines Grubenbetriebes ermittelt wurden. Eigenwillig hat aufgezeigt, dass die Strahlenexposition eines WISMUT-Arbeitnehmers sich im Individualfall um den Faktor 10 und mehr vom Mittelwert unterscheiden kann. Er hat darauf hingewiesen, dass die Kumpel zusätzlich u.a. bis in die 1950er Jahre von den radioaktiven Grubenwässern getrunken haben (Eigenwillig 2004; 2007). Das ist ein Belastungspfad, der in der offiziellen Dosimetrie nicht berücksichtigt wird, aber sicherlich zu einer nennenswerten Bestrahlung von Organen außerhalb der Lunge geführt hat. Nachgewiesene Unterschätzungen und Fehler in den Annahmen wurden jedoch nicht korrigiert (Eigenwillig 2022).

Werner Martin¹⁰ erkrankte im Jahr 2006 im Alter von 57 Jahren an Lungenkrebs. Er hatte ab einem Alter von 24 Jahren von 1973 bis 1991, also 18 Jahre, bei der WISMUT unter Tage gearbeitet. Allerdings war er nicht als „Hauer“, sondern als Grubenzimmerling tätig, was in dem oben genannten Bericht von Lehmann mit Abschlügen an der Exposition gewichtet wird. Die ermittelte Exposition

⁹ Hervorhebung durch Autor*innen

¹⁰ Name geändert

ergibt nach Umrechnung einen Wert 4,4 Sv für die Lungendosis. Die BG ermittelte nach dem Jacobi-Modell I eine Wahrscheinlichkeit von 37%, dass eine Erkrankung durch Strahlenwirkung vorliegt, und lehnte die Anerkennung als BK ab (denn dazu muss nach BKV eine Wahrscheinlichkeit von > 50% bestehen). Werner Martin legte daraufhin Widerspruch ein, starb aber noch im gleichen Jahr. Seine Witwe klagte auf Hinterbliebenenrente beim Sozialgericht und wurde 2008 mit Verweis auf die BG-Berechnung abgewiesen, ebenso ihre Berufungsklage beim Landessozialgericht 2013. Auf Grund ihres weiteren Widerspruchs mit Begründungen der Sachverständigen Pflugbeil und Schmitz-Feuerhake holte das Landessozialgericht NRW Erkundigungen zur Aktualität des Jacobi I -Gutachtens beim BfS ein. In einer öffentlichen Sitzung 2018 waren die Richter laut Bericht der Witwe geneigt, ihrer Klage stattzugeben. Die Richter hätten die Behauptung der BG stark kritisiert, dass stets eine Anpassung des Gutachtens Jacobi I an aktuelle Erkenntnisse erfolgt sei. Die Vertreterin der beklagten BG verweigerte mit Hinweis auf die enorme Nachzahlungsspanne jedoch die Anerkennung. Vom BfS war darauf hingewiesen worden, dass demnächst ein neues Programm (ProZES) zur Verfügung gestellt würde, das auf der Grundlage aktueller Erkenntnisse die Berechnung der Verursachungswahrscheinlichkeit für Krebs durch ionisierende Strahlung und daher auch für Uranbergarbeiter an Hand der jeweiligen Organdosis erlaube (s. unten). Die Klägerin wurde bedrängt, einer Aussetzung des Verfahrens zuzustimmen, bis das neue Programm einsetzbar würde. Sie willigte ein. Im Jahr 2019 – 13 Jahre nach ihrem Mann - verstarb auch sie. Erst 2021 stellte das BfS die neue Berechnung zur Strahlenursache zur Verfügung, diese hätte der Witwe wahrscheinlich tatsächlich zu einer Hinterbliebenenrente verholfen.

Bekannt ist auch der Fall eines weiteren WISMUT-Beschäftigten, der erst spät – in diesem Fall 25 Jahre –nach Ende der Tätigkeit unter Tage (er arbeitete dort insgesamt 8,6 Jahre) im Alter von 51 Jahren an Lungenkrebs erkrankte. Zu diesem Zeitpunkt ist das Lungenkrebsrisiko nach Jacobi I nur noch auf 40% des Maximalwertes gesunken. Trotz frühen Beginns mit 16 Jahren und frühem Erkrankungsalter errechnete die BG für diesen WISMUT-Arbeiter eine Wahrscheinlichkeit der Strahlenursache von nur 13%. Das hängt auch damit zusammen, dass dieser Betroffene ebenfalls nicht als Hauer, sondern als Schlosser gearbeitet hat, was nach dem Lehmann-Bericht zu Abschlügen bei der JEM führt. Auch hier wies die BG lange, bevor es zur Verfügung stand, bereits auf das zu erwartende Programm ProZES hin. Dieses ermittelte 2021 für den Betroffenen keine ausreichende Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Verursachung. Diese Schlussfolgerung beruht darauf, dass ProZES für Lungenkrebs durch Radon die Daten aus der deutschen Uranbergarbeiterstudie verwendet (Ulanowski et al. 2020).

2.4 Die deutsche Uranbergarbeiterstudie

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betont, eine der weltweit zahlenmäßig größten Kohortenstudien bei beruflich radonbelasteten Bergarbeitern an 59.000 WISMUT-Beschäftigten durchzuführen. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Uranbergarbeitern erhöhte Lungenkrebsraten auftreten – ein Tatbestand, der etwa seit 100 Jahren bekannt ist („Schneeberger Lungenkrankheit“) und in vielen internationalen Uranbergarbeiterstudien bereits bestätigt wurde. Die Ermittlung der Dosis-Wirkungszusammenhänge in der Deutschen Uranbergarbeiterstudie beruht auf der Job-Exposure-Matrix (JEM) nach Lehmann. In internationalen Verbundstudien zur Ermittlung des Strahlenrisikos

für Kreislauferkrankungen bei Nukleararbeitern firmiert die deutsche Kohorte jedoch fälschlich als solche mit bekannter Individualdosis (Little et al. 2012; Rage et al. 2020).

Die erste Auswertung betrachtete die Mortalität der WISMUT-Beschäftigten zwischen 1946-1998 (Grosche et al. 2006). Die mittlere Radonexposition lag nach JEM bei den Bergleuten unter Tage bei 332 WLM¹¹, was umgerechnet etwa 33 Sv Lungendosis entspricht, die mittlere Beschäftigungsdauer betrug 11,3 Jahre. (Zum Vergleich: der Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen für die Lunge beträgt 0,15 Sv pro Jahr.) Die Dosiswirkungsanalyse ergab eine doppelt so hohe Lungenkrebsrate bei den Exponierten als bei den Nichtexponierten (Dosis 0). Interessanterweise war der durch Extrapolation ermittelte Kontrollwert höher als die Lungenkrebsmortalität in der DDR-Bevölkerung im entsprechenden Zeitraum (Walsh et al. 2010). Das heißt, die Bergleute sollten von Haus aus kränker sein als die übrige Bevölkerung. Wegen des „Healthy-Worker“ Effekts¹² würde man genau das Gegenteil erwarten, denn gerade für diese Schwerstarbeit kamen sicherlich nur sehr gesunde kräftige Männer infrage. Das bestätigt den Verdacht einer fehlerhaften Dosimetrie.

Dieses epidemiologisch widersprüchliche Ergebnis wird in der Untersuchung über die Mortalität an Krebserkrankungen außerhalb der Lunge nicht problematisiert (Kreuzer et al. 2008). Dort zeigten sich statistisch signifikante, aber zahlenmäßig relativ geringfügige Erhöhungen für Magenkrebs (15%) und Leberkrebs (26%), bei letzterem wird erhöhter Alkoholenuss als Ursache vermutet, ansonsten keine vermehrten Krebstode. In der deutschen Studie wurden zunächst im Gegensatz zu anderen Untersuchungen auch keine Herz- und Kreislauferkrankungen gefunden.

Walsh et al. (2011) kommen zu dem Schluss, dass die abgeleitete höhere Todesrate an Lungenkrebs bei unbestrahlten WISMUT-Beschäftigten im Vergleich zur Bevölkerung vermutlich am erhöhten Rauchverhalten liegt. (Es ist in Frage zu stellen, dass die WISMUT-Arbeiter unter Tage oder in der Freizeit nach schwerer körperlicher Arbeit in 2000 Jahresstunden so viel rauchen.) Die Frage, ob die geschätzten Individualdosen womöglich gar nicht zutreffen, erörtern sie nicht.

Ein anderes Problem der deutschen Uranbergarbeiterstudie besteht darin, dass es sich um eine Mortalitätsstudie handelt. Bei einer BK wird nicht nach der Wahrscheinlichkeit gefragt, strahlenbedingt an der Erkrankung zu sterben, sondern diese Erkrankung strahlenbedingt zu bekommen, also nach dem **Erkrankungsrisiko** (Inzidenz). In früheren Zeiten musste man davon ausgehen, dass fast jedes Bronchialkarzinom ein Todesurteil bedeutet. Das ist wegen verbesserter Früherkennungs- und Therapiemöglichkeiten heute nicht mehr der Fall. Im Jahr 2013 wurden in Deutschland 22% mehr Krebserkrankungsfälle pro Jahr an Lunge und Trachea als Todesfälle festgestellt (ZKD 2017). Daraus lässt sich allerdings keine einfache quantitative Korrektur zur Ermittlung der Inzidenz nach Bestrahlung bestimmen, weil das genannte Verhältnis ein Mittelwert über alle Altersklassen ist. Des Weiteren erhebt sich die Frage, wie eine reine Betrachtung des Strahlenrisikos durch Radon im Stollen korrekte Ergebnisse liefern kann, wenn die Bergleute viel häufiger an obstruktiven Lungenerkrankungen sterben als an Lungenkrebs, wie es bei den WISMUT-Beschäftigten der Fall war.

¹¹ WLM = Working Level Month: Einheit für die Exposition durch das gasförmige Radon in der Luft

¹² Der „Healthy Worker Effect“ wird bei gesundheitlich ausgelesenen Personen – wie z.B. Arbeitern oder Soldaten – beobachtet, die (ohne Exposition) eine geringere Sterblichkeit und eine geringere Rate an Krebserkrankungen haben als die Normalbevölkerung.

Trotz der von Kritiker*innen vielfach vorgetragenen Einschränkungen bezogen sich die BG in vielen WISMUT-Fällen auf die deutsche Uranarbeiterstudie, um eine Ablehnung als BK zu begründen.

In späteren Jahren wurden die Voraussetzungen für die Einbeziehung von Bergleuten in die Studie geändert. Im Jahr 2021 wurden revidierte Erkenntnisse vorgelegt, die auf einer Untergruppe von nur 35.204 unter Tage Beschäftigten im Zeitraum 1960-2013 beruhen (Kreuzer et al. 2021). Diesmal wird die JEM nach Lehmann zutreffend als „geschätzte“ Dosis bezeichnet. Verglichen mit der Sterblichkeit der männlichen ostdeutschen Bevölkerung ergaben sich aus 18.510 Todesfällen folgende Zahlen für die Übersterblichkeit gegenüber der Bevölkerung, also als wahrscheinlich berufsbedingt:

Lungenkrebs (+ Trachea)	1708	(9,2 %)
Atemwegserkrankungen	891	(4,8 %)
Krebs gesamt ohne Lunge	167	(0,9 %)
Zerebrovaskuläre Erkrankungen	899	(4,9 %)
Summe	3665	(20 %)

Das Programm ProZES berechnet die Verursachenswahrscheinlichkeit für Lungenkrebs in Folge von reiner Exposition durch Radon (wie es im Uranbergwerk eben gar nicht der Fall ist), in dem ausschließlich von den Resultaten der deutschen Uranbergarbeiterstudie ausgegangen wird, aus einer anderen Untergruppe mit „niedrigen“ Expositionen und Dosisraten (Kreuzer et al. 2015). Der Bereich erstreckt sich bis 334 WLM – entsprechend 33,4 Sv Lungendosis. Auch im ProZES-Programm wird also wiederum von der Mortalität ausgegangen und Confounder werden nicht berücksichtigt. Es wurde allerdings angekündigt, dass Revisionen geplant sind, die dann auch internationale Studien einbeziehen sollen (Ulanowski et al. 2020).

2.5 Schlussfolgerungen

In der medizinischen Wissenschaft liegen inzwischen zahlreiche Publikationen über Strahleneffekte, epidemiologische Befunde im Niedrigdosisbereich, über Einflüsse von Dosis und Dosisleistung in der Realität und in mathematischen Modellen vor. Vermissen lassen sich hingegen konkrete Anstrengungen zur besseren Prävention und insbesondere zur finanziellen Kompensation der vielfachen Schädigungen von Betroffenen.

Nach dem Prinzip des stochastischen Schadens hängt die Anzahl der Erkrankungen von der Kollektivdosis ab (Summe aller Einzeldosen). Im deutschen Berufskrankheitenrecht werden nur bestimmte Krebserkrankungen als durch Strahlung erzeugbar anerkannt. Da diese auch „spontan“ auftreten können, gilt das oben genannte 50%-Kriterium für die „überwiegende Wahrscheinlichkeit“ der beruflich bedingten Verursachung. Aus dieser Bedingung resultiert bereits, dass ein sehr großer Teil der berufsbedingten Krebserkrankungen per Gesetz bei den Arbeitnehmer*innen nicht anerkannt werden. Denn die Individualdosen der Exponierten sind in Deutschland überwiegend sehr viel kleiner als die Mindestdosis für eine Anerkennung als strahlenverursachte Berufserkrankung.

kung. Die meisten BK treten in den unteren Dosisgruppen auf, da dort die allermeisten Beschäftigten zu finden sind. Dieses grundsätzliche Problem wird in verschiedenen Industrienationen zum Teil anders gehandhabt.

Im Ausstiegsland Deutschland müssen wir davon ausgehen, dass es noch viele weitere Opfer des „Normalbetriebs“ von Atomanlagen geben wird.

3. Umgebungskontaminationen

3.1 Leukämiecluster bei deutschen Atomkraftwerken

Bei der sogenannten. friedlichen Nutzung von Atomenergie wird mit strahlenden Stoffen mit sehr hohen Aktivitäten (gemessen in Becquerel) umgegangen, so dass auch kleinste Leckagen in Atomanlagen gesundheitliche Folgen haben können.

Im Jahr 1995 legten Wissenschaftler*innen der Universität Mainz eine „Niedersachsenstudie“ zu den Ursachen von Leukämie bei Kindern in Niedersachsen vor (Kaletsch et al. 1995), deren Ergebnisse auch international veröffentlicht wurden (Kaatsch et al. 1996). Sie stützten sich dabei auf die Daten des Deutschen Kinderkrebsregisters (GCCR), das seit 1980 in Mainz betrieben wird. Den Anlass dazu gaben zwei auffällig gewordene Häufungen kindlicher Leukämiefälle in den niedersächsischen Samtgemeinden Sittensen und Elbmarsch.

Leukämie ist eine bekannte Strahlenfolge. Die Krankheit tritt normalerweise selten auf, besonders selten ist sie im Kindes- und Jugendalter. Eine Besonderheit der kindlichen Leukämie ist, dass sie – im Unterschied zu den meisten anderen strahlenbedingten Krebserkrankungen – bereits wenige Jahre nach der Bestrahlung erscheint.

Die Elbmarsch liegt in unmittelbarer Nähe des AKW Krümmel, das 1984 in Betrieb gegangen ist. Sowohl aus Deutschland als auch international gab es etliche wissenschaftliche Studien über gehäufte Leukämiefälle in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Ausgangspunkt waren oft Beobachtungen von Umweltschützer*innen. Demgegenüber hatten atomfreundliche Forscher die These aufgestellt, es gäbe vielfach zu beobachtende örtliche Leukämiecluster auf der Welt, ohne dass eine erkennbare Ursache vorliegen würde.

Zum Ergebnis der Niedersachsenstudie wurde dem Auftraggeber, dem niedersächsischen Sozialminister, im entsprechenden Report die hier aufgeführte Tabelle 1 vorgelegt. Nur in den elf in der Tabelle 1 genannten Gemeinden von insgesamt 429 Gemeinden in Niedersachsen – also in 2,6% – fanden die Autoren signifikant erhöhte Leukämieraten. Die höchsten Werte, 7,7- bzw. 7,4-fache Erhöhungen gegenüber normal, ergaben sich für die Samtgemeinden Elbmarsch und Sittensen.

Tabelle 1: Niedersächsische Samtgemeinden mit statistisch erhöhter Inzidenz für Akute Leukämien bei Kindern 1984-1993, aus Niedersachsenstudie (Kaletsch et al. 1995)

Samtgemeinde	durchschnittliche jährliche Anzahl Kinder	erwartete Fallzahl ¹	beobachtete Fallzahl	SIR ²	p-Wert ³
Elbmarsch	1.341	0,6	5 ⁴	7,7	0,0003
Sittensen	1.588	0,7	5	7,4	0,0007
Neu Wulmstorf	2.327	1,0	5	5,0	0,004
Dassel	1.748	0,7	4	5,5	0,007
Bad Pyrmont	2.468	1,0	4	3,9	0,021
Stelle	1.433	0,6	3	4,8	0,025
Braunlage	702	0,3	2	6,7	0,036
Northeim	4.369	1,8	5	2,7	0,038
Wietmarschen	1.854	0,8	3	3,8	0,045
Langenhagen	6.077	2,6	6	2,3	0,048
Duingen	829	0,4	2	5,2	0,049

¹altersstandardisiert

²standardisiertes Inzidenzverhältnis: beobachtete geteilt durch erwartete Inzidenz

³basierend auf der Poissonverteilung

⁴incl. eines Patienten, der vor der Diagnosestellung verstorben ist

Grau hinterlegte Cluster liegen in der Nähe von AKW

Als Gemeinsamkeit der Fälle in Sittensen war vielfaches und unsachgemäßes Röntgen in einer orthopädischen Praxis vor der Erkrankung bekannt und wurde später auch als Ursache ermittelt (Schmitz-Feuerhake et al. 2002; 2007).

Greiser und Hoffmann haben in einer Kritik an der Niedersachsenstudie darauf hingewiesen, dass noch ein weiterer Strahlenverdacht darin nicht richtig gewürdigt wurde, nämlich die Strahlenbelastung der Eltern als Risikofaktor im Sinne eines genetischen und/oder teratogenen Strahleneffekts (siehe Leukämie bei der Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoffe Sellafield Kap. 3.5). Denn es heißt in der Niedersachsenstudie im Kapitel „Strahlenexposition der Eltern vor oder während der Schwangerschaft“: *„Es fällt auf, daß bei den Untersuchungen der Strahlenbelastung der Mutter (berufliche und nicht berufliche Strahlenbelastung vor oder während der Schwangerschaft) für die Vergleiche erkrankter Kinder mit den entsprechenden Kontrollgruppen die Odds Ratios mit einer*

Ausnahme konsistent größer als 1 sind. Dies gilt auch für die Mütter von Kindern aus Clusterregionen" (Greiser & Hoffmann 1996).

Ein erstaunlicher Befund der Niedersachsenstudie war der Tatbestand, dass sieben der elf Cluster-gemeinden in Tabelle 1 in der Nähe von Atomkraftwerken lagen¹³. Die Gemeinde Wietmarschen liegt in unmittelbarer Nähe des AKW Lingen. Bad Pyrmont, Duingen, Dassel, Neu Wulmstorf und Stelle liegen jeweils weniger als 20 km entfernt von den AKW Grohnde, Würgassen, Stade und Krümmel (KKK).

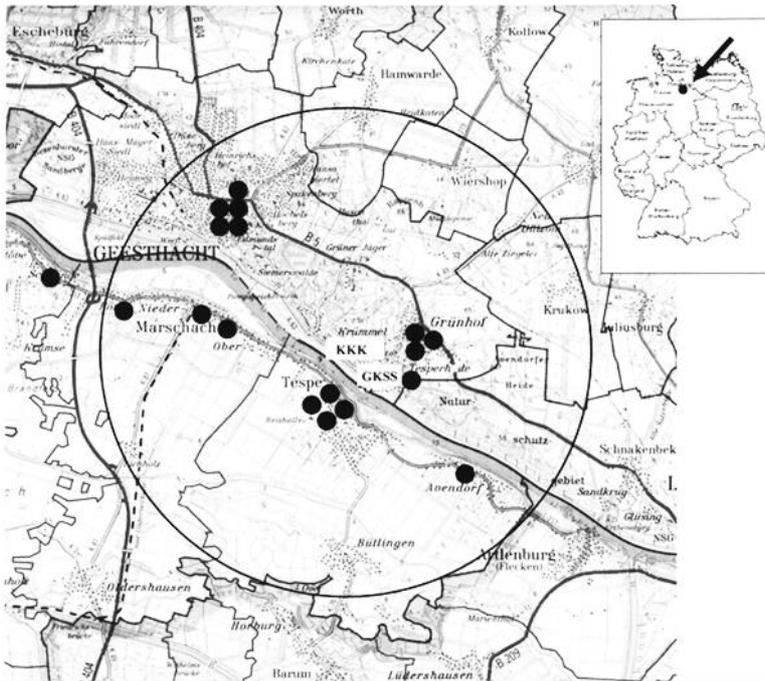


Abbildung 1: Karte zur Lokalisation von 16 Fällen mit Akuter Leukämie bei Kindern unter 15 Jahren im 5 km-Umkreis des Atomkraftwerks Krümmel (KKK) 1990-2006
 Zusätzlich eingetragen: 1 Fall von 2004 „geringfügig außerhalb des Kreises“, 1 Fall eines Jugendlichen (21 Jahre, 1991), 1 kindlicher Fall Aplastische Anämie 1989 (strahleninduzierbare Blutkrankheit). (BI gegen Leukämie Elbmarsch 2006)

Das Elbmarschcluster war zu der Zeit (1993) erst im Entstehen (Abbildung 1). Die Gemeinde Elbmarsch liegt am südlichen Elbufer in Niedersachsen, das KKK am nördlichen Elbufer im Bundesland Schleswig-Holstein. In 1,5 km Entfernung vom KKK befindet sich die frühere Kernforschungsanlage GKSS¹⁴. In einer späteren Studie wurde nachgewiesen, dass es sich nicht um eine Kurzzeitercheinung handelte, sondern um einen anhaltenden Effekt, so wie man ihn nach Kurzzeitexposition einer Bevölkerung erwarten würde (Hoffmann et al. 2007). Im Zeitraum von 1999-2005 lag immer noch eine Erhöhung um den Faktor 2,7 vor. Mindestens vier der in Abbildung 1 aufgeführten Patienten sind in diesem Zeitraum gestorben.

¹³ Siehe grau hinterlegte Zeilen in Tabelle 1

¹⁴ Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt

Die Besonderheit des Elbmarschclusters besteht darin, dass die ersten 5 Fälle von 16 nach Betriebsbeginn 1984 des KKK sozusagen schlagartig in den Jahren 1990/91 auftraten (Bl gegen Leukämie Elbmarsch 2006). Dadurch ergab sich sofort der Verdacht auf eine unfallartige Freisetzung wenige Jahre vorher. Der kurzzeitig amtierende schleswig-holsteinische Sozialminister Günther Jansen (SPD) bestellte 1992 eine Leukämiekommision zur Aufklärung ein, in der atomkritische Wissenschaftler*innen und ein stimmberechtigtes Mitglied der Bürgerinitiative gegen Leukämie in der Elbmarsch gemeinsam eine Mehrheit besaßen. Diese kam 2004 zu dem Schluss, dass ein Zusammenhang mit ungenehmigten radioaktiven Emissionen erwiesen sei (Wassermann et al. 2004). Nach Recherchen der Kommission hat am 12.09.1986 ein kerntechnischer Unfall in der GKSS stattgefunden, der jedoch von Behörden und Betreibern nicht gemeldet wurde. Der Zeitpunkt ergibt sich aus Nachweisen in der Umgebungsüberwachung (Schmitz-Feuerhake et al. 2005) sowie aus der Tatsache, dass auf dem Gelände des KKK genau an diesem Tag eine Kontamination mit Alphastrahlern festgestellt wurde. Die Aufsichtsbehörde in Kiel behauptete, es hätte sich um einen Aufstau natürlichen Radons (das gasförmige Folgeprodukt von Uran) gehandelt. Das ist aber geografisch und physikalisch nicht möglich und konnte auch messtechnisch nicht belegt werden. (Der genannten Kommission wurde gegenüber der schleswig-holsteinischen Aufsichtsbehörde keine Weisungsbefugnis erteilt).

Eine Inversionswetterlage, wie behauptet wurde, lag an dem Tag ebenfalls nicht vor. Die Arbeitsgruppe ARGE PhAM¹⁵ konnte durch Probennahme in der Umgebung eine Kontamination mit Kernbrennstoffen nachweisen, anhand derer sich Experimente mit thoriumhaltigem Spaltmaterial aus der GKSS rekonstruieren ließen (Wassermann et al. 2004). In Dachstaubproben aus der Elbmarsch wurden Plutoniumisotope gefunden (Schmitz-Feuerhake et al. 2003). Die Aufsichtsbehörde behauptete, dass alle diese kerntechnischen Derivate Relikte der früheren weltweiten oberirdischen Atomwaffenversuche oder durch den Tschernobyl-Unfall 1986 bedingt seien (wie das Transuran Americium 241). In Dachstaubmessungen der Aufsichtsbehörde sollten Proben, die aus der Elbmarsch stammten, mit Proben aus einer weit entfernten Kontrollregion verglichen werden. Damit sollte bewiesen werden, dass sich die in der Elbmarsch nachgewiesenen Kontaminationen nicht vom Normalzustand unterscheiden würden. Einige der Vergleichsproben zeigten den exakt gleichen Plutoniumgehalt und eine identische Verteilung der Plutoniumisotope wie in den Elbmarschproben. Das ist aber bei unterschiedlicher Herkunft der Radioaktivität und aus verschiedenen Dächern (in Staub mit Mörtel, Spänen, Taubendreck etc.) nicht möglich (Dieckmann et al. 2000; Schmitz-Feuerhake 2006).

Durch „biologische Dosimetrie“ bei Mitgliedern der betroffenen Familien konnte eine erhöhte Strahlenexposition der Bevölkerung bestätigt werden. In Blutproben von 21 Erwachsenen und 5 Kindern zeigten sich erhöhte Raten von dizentrischen Chromosomen, die ein sicherer Indikator für ionisierende Strahlung sind (Dannheim 1996; Schmitz-Feuerhake et al. 1997; Hoffmann & Schmitz-Feuerhake 1999).

¹⁵ Arbeitsgemeinschaft Physikalische Analytik und Messtechnik, Prof. Dr. R. Brandt, Dipl.-Ing. H. W. Gabriel (Geschäftsführer), Dr. D. Schalch, Prof. Dr. Dr. h. c. A. Scharmann, Gießen

Es ist wahrscheinlich, dass das KKK ebenfalls einen Beitrag zur festgestellten Umgebungskontamination geliefert hat. Erst spät konnte durch auszugsweisen Einblick in die KKK-Monatsberichte entdeckt werden, dass der Reaktordruckbehälter undicht war und seit Anfang 1984 während des Betriebes Kühlwasser verlor. (Beim Siedewasserreaktor werden die Regelstäbe von unten in den Reaktorkern eingeführt.) Im Jahr 1986 traten 950 Kubikmeter heißes Reaktorwasser aus (Schmitz-Feuerhake 2001). Dieses Wasser ist hochradioaktiv, da es die Brennelemente umgibt, und muss als heißer Dampf das Reaktorgebäude kontaminiert bzw. verlassen haben.

Diese Tatsachen wurden jedoch von den Verantwortlichen ignoriert. Die Aufsichtsbehörde behauptete, Atomkraftgegner*innen könnten keine objektiven Beurteilungen liefern. In den jeweiligen Abschlussberichten der Landesregierungen hieß es, es hätten sich keinerlei Hinweise zur Aufklärung des Leukämievorkommens ergeben.

In den Jahren 1992 (KKW I-Studie für Westdeutschland) und 1997 (KKW II-Studie für Gesamtdeutschland) wurden ökologische Studien veröffentlicht, die nach Auswertung des deutschen Kinderkrebsregisters in Mainz in der Umgebung von Atomanlagen zu statistisch unauffälligen Ergebnissen führten. Von Seiten der Politik wurde erklärt, dass nunmehr endgültig geklärt sei, dass Atomkraftwerke nicht krankmachen. Weitere Studien seien unnötig. In der KKW I-Studie befand sich jedoch ein Hinweis, dass Kleinkinder, die in der näheren Umgebung von Atomanlagen lebten, gehäuft an Leukämie erkrankten. Der Befund wurde in der Gesamtbewertung als Zufallsergebnis gewertet. Dank der Hartnäckigkeit von Alfred Körblein, dessen Arbeit, die nur Standorte von **in Betrieb befindlichen** Atomkraftwerken einbezog, sowohl eine signifikant erhöhte Krebsrate als auch Leukämierate bei Kleinkindern im Nahbereich ergeben hatte (Körblein & Hoffmann 1999), und Dank des nachhaltigen Drängens der IPPNW¹⁶ erteilte das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wiederum an das Institut in Mainz einen Auftrag zur Ausführung einer epidemiologischen Studie bezüglich aller AKW in der BRD.

Bei dieser sogenannten KiKK¹⁷-Studie handelt es sich um eine ökologische Fall-Kontroll-Studie. Grundlage ist ein Vergleich von gesunden „Kontrollkindern“ und kranken „Fallkindern“, im Umkreis der 16 AKW-Standorte in Deutschland mit insgesamt 22 Reaktoren. Die Studie umfasste 1.592 an einem Krebs erkrankte und 4.735 nicht erkrankte Kinder. Der Untersuchungszeitraum umfasste die Jahre 1980 bis 2003. Fragestellung und Art der Studie sind von einem interdisziplinär zusammengesetzten Expertengremium vorgeschlagen worden. Im Dezember 2007 wurden die Ergebnisse der KiKK-Studie veröffentlicht (Kaatsch et al. 2007; Spix et al. 2007). Sie umfasste im 5 km-Umkreis der Anlagen 77 Kinder unterhalb von 5 Jahren mit Krebsdiagnose. Gefunden wurde eine um 60 Prozent erhöhte Krebsrate und eine um 118 Prozent signifikant erhöhte Leukämierate bei Kindern unter 5 Jahren im 5-km Nahbereich der Atomkraftwerke. Das Risiko für frühkindliche Krebsleiden und Leukämie ist abhängig von der Entfernung – innerhalb der 15 km-Umgebung nimmt das Risiko mit zunehmender Wohnnähe zum Atomkraftwerk zu. Der signifikante Effekt bleibt vorhanden, auch wenn die Daten für das AKW Krümmel herausgenommen werden (Jöckel et al. 2008).

¹⁶ (IPPNW=International Physicians for the Prevention of Nuclear War); Deutsche Sektion der Internationalen Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges, Ärzte in sozialer Verantwortung e.V.

¹⁷ Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken

Die Autor*innen der Studie und auch die Strahlenschutzkommission (SSK) behaupteten im Nachgang, Strahlung könne nicht die Ursache sein, weil die Dosis mehr als um den Faktor 1000 dazu zu gering sei. Diese Dosis kann jedoch nicht gemessen werden, sondern wird anhand einer Modellrechnung mit vielen angenommenen Parametern über die meteorologische Ausbreitung der Radioaktivität, ihr Verhalten in der Umwelt und die Aufnahmepfade in den menschlichen Körper ermittelt. Die Unsicherheiten dieser Ausbreitungsmodelle und deshalb auch der daraus resultierenden örtlich und zeitlich verteilten äußeren Expositionen und ebenso die Unsicherheiten der benutzten Stoffwechselmodelle zur Ermittlung der Radioaktivitätsverteilung im Körper sind unbekannt (Stevenson 2001). Zudem werden nur gemittelte Freisetzungen aus dem AKW zugrunde gelegt und keine Spitzenwerte, die beim Brennelementwechsel auftreten.

Wider alle Evidenz z.B. beim Elbmarschcluster bezüglich der Ähnlichkeiten mit typischen Eigenschaften von Strahleneffekten wie die beobachteten Latenzzeiten nach dem Unfall, die besondere Empfindlichkeit sehr junger Kinder, der höheren Risiken von Jungen gegenüber Mädchen sowie auch der Zusammensetzung der aufgetretenen Erkrankungen, war die offizielle Beurteilung erneut, das Phänomen bleibe unerklärt, unbekannte Ursachen oder auch Zufall seien nicht auszuschließen.

2008 erschien im Deutschen Ärzteblatt zur Untermauerung der offiziellen Beurteilung eine weitere Inzidenzstudie von den Verfasser*innen der KiKK-Studie mit dem Titel „Leukämien bei unter 5-jährigen in der Umgebung deutscher Kernkraftwerke“ (Kaatsch et al. 2008). Diese ökologische Studie kam zu dem Ergebnis, dass eine nicht signifikante Inzidenzerhöhung um 41% (SIR= 1,41) für kindliche Leukämien im 0-5km-Nahbereich von Atomkraftwerken bestünde. Aber diese Studie ist schon allein deshalb nicht mit der KiKK-Studie vergleichbar, die eine Fall-Kontroll-Studie war, weil bestimmte Merkmale, wie z.B. die Größe des Untersuchungsgebiets (Gemeindegebiete, deren Mittelpunkte im 5 km-Umkreis der AKW liegen) nicht übereinstimmen. Diese Publikation ist insofern sehr ungewöhnlich, weil darin die zuvor von derselben Gruppe publizierten Ergebnisse der aussagekräftigeren Fall-Kontroll-Studie nachträglich durch eine weniger aussagekräftige ökologische Methodik relativiert werden. Die Studie ist jedoch geeignet für den Vergleich mit daraufhin durchgeführten Untersuchungen in drei anderen europäischen Industrienationen. (siehe Kap. 3.2)

3.2 Vierländerstudie zu frühkindlicher Leukämie bei Atomkraftwerken

Nach Erscheinen der KiKK-Studie wurden in Großbritannien, der Schweiz und in Frankreich ebenfalls epidemiologische Untersuchungen zum Auftreten von Leukämie bei Kleinkindern (<5 Jahre) an den Standorten der AKW durchgeführt, in denen auch der 5 km-Nahbereich betrachtet wurde (Stather 2011; Spycher et al. 2011; Sermage-Faure et al. 2012). Sie zeigten sämtlich Erhöhungen, die aber nicht statistisch signifikant waren. Körblein und Fairlie führten daraufhin eine Metaanalyse zusammen mit der deutschen Abstandsstudie von Kaatsch et al. (2008) durch (Koerblein & Fairlie 2012). Durch die höheren Fallzahlen ergab sich ein signifikant um 44% erhöhtes Risiko im Nahbereich gegenüber dem Entfernungsbereich größer als 5 km. Die diesbezüglichen Daten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

SIR in Tabelle 2 ist das Verhältnis der Anzahl der beobachteten Fälle (O) zur Anzahl der erwarteten Fälle (E). Das relative Risiko (RR) ist das Verhältnis von SIR im 5 km-Nahbereich zu SIR im Rest der Untersuchungsregion. Es zeigt sich eine erstaunliche Übereinstimmung der Ergebnisse in den 4 Ländern. Die Addition der Daten für alle 4 Länder ergibt ein statistisch signifikant erhöhtes SIR von 1,37 (95% KI: 1,09-1,71) und ein relatives Risiko von RR=1,44 (p=0,0034).

Tabelle 2: Relatives Leukämierisiko für Kinder < 5 Jahre im Nahbereich von Atomkraftwerken (graue Zeilen)
O (beobachtete Anzahl Fälle), E (erwartete Anzahl Fälle), SIR Verhältnis = O/E

Land	Bereich	O	E	SIR	95% KI*	RR	p-Wert**
Deutschland (D) 1980-2003	0-5 km	34	24,1	1,41	(0,98-1,97)	1,45	0,0578
	5-30 km	417	427,1	0,98			
Großbritannien (GB) 1969-2004	0-5 km	20	15,4	1,30	(0,79-2,01)	1,39	0,1965
	5-25 km	394	421,4	0,94			
Schweiz (CH) 1985-2009	0-5 km	11	7,9	1,40	(0,70-2,50)	1,46	0,3335
	5-15 km	54	56,4	0,96			
Frankreich (F) 2002-2007	0-5 km	14	10,2	1,37	(0,75-2,30)	1,48	0,2251
	5-20 km	117	126,2	0,93			
D+GB+CH+F	0-5 km	79	57,6	1,37	(1,09-1,71)	1,44	0,0034
	>5 km	982	1031	0,95			

*KI Konfidenzintervall

**p-Wert, berechnet mit der Binomialverteilung

In Abbildung 2 sind die Daten für die erhaltenen SIR in den 4 Ländern in Abhängigkeit von der Entfernung vom AKW aufgetragen. Die durchgezogenen Linien sind Ergebnisse von Regressionen mit einem linearen (dünne schwarze Linie) und einem linear-quadratischen Abstandsmodell (stärkere graue Linie). Letzteres erlaubt eine bessere Anpassung an die Daten als eine lineare Abhängigkeit vom reziproken Abstand. Alle SIR nach Tabelle 2 in der Umgebung >5 km liegen unterhalb von 1,00, was damit erklärt werden könnte, dass Leukämieraten in ländlichen Gebieten kleiner sind als in Städten.

In der französischen Studie wurde ein erhöhtes Leukämievorkommen vermutet und gefordert, man solle nach möglichen Risikofaktoren in der Nähe von AKW forschen und eine zusammenfassende Analyse der vorliegenden Evidenzen anhand der vielen lokalen Studien in verschiedenen Ländern durchführen. Letzteres haben Körblein und Fairlie unternommen und damit bestätigt, dass es im Nahbereich von Atomkraftwerken ein erhöhtes Leukämierisiko gibt.

In der KiKK-Studie, die eine Fall-Kontroll-Studie war, wurden keine anderen Risikofaktoren gefunden als der Abstand zum AKW. Eine Infektion nach der Kinlen-Hypothese (s. Kap.3.5) wurde von den Autoren ausgeschlossen (Spix et al. 2007). Daher muss die Schlussfolgerung sein, dass das Phänomen mit der Existenz des AKW zu tun hat.

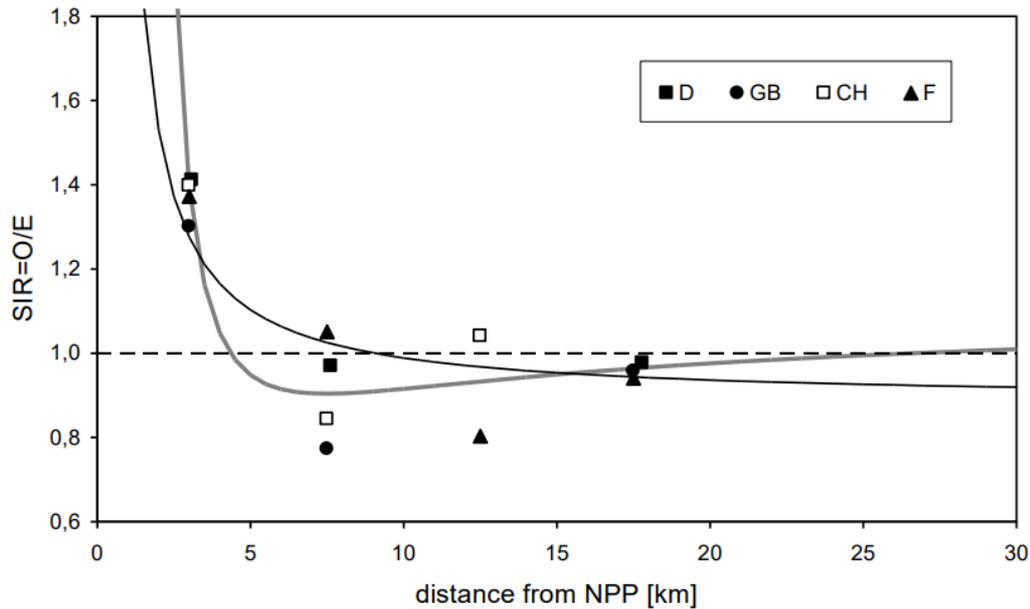


Abbildung 2: Leukämierisiko (standardisiertes Inzidenzverhältnis SIR) von Kleinkindern in der Umgebung von AKW in Deutschland (D), Großbritannien (GB), der Schweiz (CH) und Frankreich (F) in Abhängigkeit von der Entfernung zum AKW (aus Koerblein & Fairlie 2012)

3.3 Weitere Gesundheitsschäden in der Nähe deutscher Atomanlagen

Aber auch außerhalb des Zeitraums, den die KiKK-Studie berücksichtigte, sowie bei anderen Nuklearanlagen gab es in Westdeutschland Befunde über Gesundheitsschäden in der Umgebung, außerdem gab es nachträgliche Befunde bei Nuklearanlagen der DDR. Sie betrafen ebenfalls vornehmlich Kinder (Tabelle 3). Das Elbmarschcluster war von einem örtlichen Kinderarzt bemerkt und angezeigt worden, ohne dass zunächst die zuständigen Behörden bereit waren, dem Phänomen nachzugehen. Eine Ausnahme bildete der Leiter des Gesundheitsamts Lüneburg, der die Aufklärung im Rahmen seiner Möglichkeiten vorantrieb, nicht ohne deswegen von oberen Instanzen mehrfach verwart zu werden. Auch die weiteren Untersuchungen, über die im Folgenden berichtet wird, fußen auf Beobachtungen von einheimischen Ärzt*innen oder aufmerksamen Bürger*innen.

Tabelle 3: Erhöhte Gesundheitsschäden bei Nuklearanlagen in Deutschland ohne Elbmarsch und KiKK-Studie

#	Anlage und Ort	Untersuchte Krankheiten	Untersuchte Altersgruppe	Ergebnisse
1	AKW Lingen/Ems, anliegend Kreis Bentheim 1969/1970 (Stein 1988)	A) Leukämie B) Säuglingssterblichkeit	0-14 0-1	A) 8 Fälle im Jahr 1970 SMR 3,5; $p < 0,01$ B) erhöht mit Peak 1969
2	Bayern 1976-1981 3 AKW; 1 Versuchsreaktor; 2 Forschungsreaktoren (Grosche et al. 1987a; b)	Leukämieinzidenz	0-14 15-39	Erhöhungen um die Forschungsreaktoren Garching und Neuherberg s. Text
3	AKW Würgassen/NRW 1971-1987 (Demuth 1989; Hoffmann 1996)	A) Leukämie B) Alle Krebserkrankungen	0-14 0-19	Leukämieerkrankungen im Gebiet 15-20 km Abstand 3-4-fach erhöht
4	Atomanlagen der DDR 1961-1988 6 AKW; 1 Forschungsreaktor (Möhner & Stabenow 1993)	A) Inzidenz aller Krebserkrankungen B) Leukämie	0-14	A) Erhöhung im 10 km-Umkreis um Faktor 1,48 (Anlagen gesamt) B) Verdopplung bei Rossendorf
5	Uraneraufbereitung Ellweiler (Rheinl.-Pfalz) 1970-1989 (Hoffmann 1993; Hoffmann et al. 1993)	Leukämie	A) 0-14 B) 0-20	Erhöhung im 5 km-Umkreis A) SIR 1,8; $p = 0,034$ (5 Fälle) B) SIR 2,3; $p = 0,009$ (7 Fälle)
6	Nuklearanlagen in Deutschland + Schweiz zwischen 1975-2005 (Kusmierz et al. 2010)	Verlust weiblicher Nachkommen	Neugeborene	Messbar durch Geschlechterverhältnis; hier signifikanter Anstieg des Verhältnisses männlich/weiblich
7	AKW Grafenrheinfeld und andere Bayerische Atomkraftwerke 1968-1991 (Kafka 1985; Körblein 2008)	Fehlbildungen	Neugeborene	Unfall 1977 AKW Gundremmingen Block A; Radioaktivitätsmessungen bei Grafenrheinfeld
8	AKW Philippsburg und Biblis 2006-2008 (Queisser-Luft et al. 2010; Körblein 2010)	Fehlbildungen	Neugeborene	Erhöhungen im Umkreis von 10 km
9	Kernforschungsanlage Jülich, Projekt Kugelhaufenreaktor 1967-1988; Leckagen (Kuni 1998)	Leukämie	A) 0-14 B) 0-20	1990-1992 in Nachbargemeinden Niederzier A) $RR^* = 26,3$ B) $RR = 33,4$ Huchem-Stammeln A) $RR = 17,4$ B) $RR = 19,9$
10	Hochtemperaturreaktor THTR Hamm-Uentrop/NRW (Seithe 2012; Krebsregister NRW 2013)	Schilddrüsenkrebs Leukämie	alle	Leckagen 1986; erhöhte Krebsfälle im Zeitraum 2008-2010

*) RR relatives Risiko: Verhältnis beobachtete Fälle/erwartete Fälle

Die Studien Nummer. 1 bis 4 in der Tabelle 3 wurden bereits früher in einer Übersichtsarbeit von Hoffmann über Leukämiecluster in Deutschland kommentiert und epidemiologisch bewertet

(1996). Studie Nummer 1 betraf den 268 MW-Siedewasserreaktor Lingen an der Ems, der 1968 genehmigt und bis 1977 betrieben wurde. Er geriet früh in den Fokus der antinuklearen Proteste (Katter 1978), weil seine radioaktiven Emissionen zu den höchsten der deutschen AKW gehörten. Das Niedersächsische Sozialministerium veröffentlichte daraufhin 1980 das Ergebnis einer Erhebung in allen niedersächsischen Landkreisen über die Sterblichkeit an Krebserkrankungen insgesamt sowie über die Sterblichkeit an malignen Erkrankungen des blutbildenden Systems einschließlich der Leukämien. Im allgemeinen Vergleich zwischen den Landkreisen mit und solchen ohne Beitrag von Nuklearanlagen für die Periode 1968-1977 ergab sich kein signifikanter Unterschied. Als hauptsächlicher Kritikpunkt an dieser Untersuchung erwies sich jedoch eine Miss-Klassifizierung der betrachteten Regionen, weil Landkreise allein nach ihrer Entfernung von der Atomanlage als „exponiert“ betrachtet wurden – unabhängig davon, wann die erste Kritikalität der Anlage eingeleitet worden war (Stein 1988). Zum Beispiel wurden die AKW Würgassen (Landkreise Northeim, Holzminden)¹⁸ und Brunsbüttel (Landkreise Cuxhaven, Stade, Harburg) erst 1972 in Betrieb genommen, das AKW Unterweser sogar erst 1978 **nach** dem Untersuchungszeitraum.

Stein (1988) konzentrierte sich auf das AKW Lingen, aber wählte aussagefähigere Parameter, in dem er amtliche Daten für die Sterblichkeit an Kinderkrebs sowie Säuglingssterblichkeit und Totgeburten für eine geografische Studie heranzog und diese in Bezug auf Zeitdauer und Nähe der betriebenen Anlage verglich. In einem der zwei nächstgelegenen Kreise zum Reaktor (Bentheim) war in den Jahren 1968 und 1969 nur ein Kind unter 15 Jahren an Leukämie gestorben. Im Jahr 1970 wurden acht Fälle gezählt (s. Tab.2). Drei der gestorbenen Kinder waren jünger als ein Jahr (0,4 erwartet, SMR¹⁹=7, $p < 0,01$). Die SMR für Kinderkrebs insgesamt in dem zweiten Kreis (Emsland) war nicht signifikant erhöht: Im Zeitraum 1968-1969 betrug die SMR 1,26 (95% CL 0,69; 2,14), im Zeitraum 1970-1973 war die SMR 1,10 (95% CL 0,60; 1,64).

Ein ähnlicher Effekt wurde für die Säuglingssterblichkeit beobachtet. Im Landkreis Bentheim waren die Raten vor 1970 niedriger als im Mittel in Westdeutschland, aber deutlich höher in den Jahren 1970-1979. Im Kreis Emsland waren die Raten vor 1968 im Allgemeinen höher als in Westdeutschland und erreichten erst ab 1978 konstante Werte. Für Totgeburten zeigten sich 1969 in beiden Kreisen Spitzenwerte, die in den folgenden Jahren deutlich abnahmen und 1978-1979 auf ähnliche Werte wie in Westdeutschland zurückgingen.

Hoffmann (1996) hat die Daten für den Landkreis Bentheim in Abbildung 3 veranschaulicht. Leider war die Analyse von Stein in Bezug auf die genaue Entfernung der Fälle von der Emissionsquelle nicht aussagefähig, weil sie auf die Landkreisebene beschränkt war. Die Erkrankungsfälle konnten bis zu 100 km entfernt aufgetreten sein. Der Autor diskutiert seine Befunde in Hinblick auf die zeitliche Verteilung der Emissionen. In den Jahren 1969/1970 waren diese während des gesamten Betriebes am höchsten.

Die Studie Nummer 2 (Tabelle 3) entstand im Rahmen der Debatten um mögliche Effekte bei Lingen. Das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen gab 1981 eine

¹⁸ Der Ort Würgassen selbst liegt in NRW.

¹⁹ SMR standardised mortality rate: Verhältnis der altersstandardisierten Mortalitätsraten von Untersuchungsgruppe und Kontrollgruppe

geografische Inzidenzuntersuchung in Auftrag über alle Leukämiefälle in Bayern (Grosche et al. 1987a). Weil kein Krebsregister vorhanden war, musste man zunächst alle Fälle für Kinder und Erwachsene erheben. Aus Datenschutzgründen wurden nur Ort und Jahr der Geburt, Geschlecht und Wohnort registriert sowie das Datum der Erstdiagnose einer Leukämie, die zytologisch/histologische Klassifikation, die Anzahl der Rezidive und der gegenwärtige Status der Erkrankung. Das Ergebnis war jedoch unvollständig, wie ein Vergleich mit einer früheren Mortalitätsstudie ergab (Hoffmann 1996). Eine vollständigere Erfassung ergab sich annähernd nur für akute Leukämien bei jüngeren Personen unterhalb von 40 Jahren.

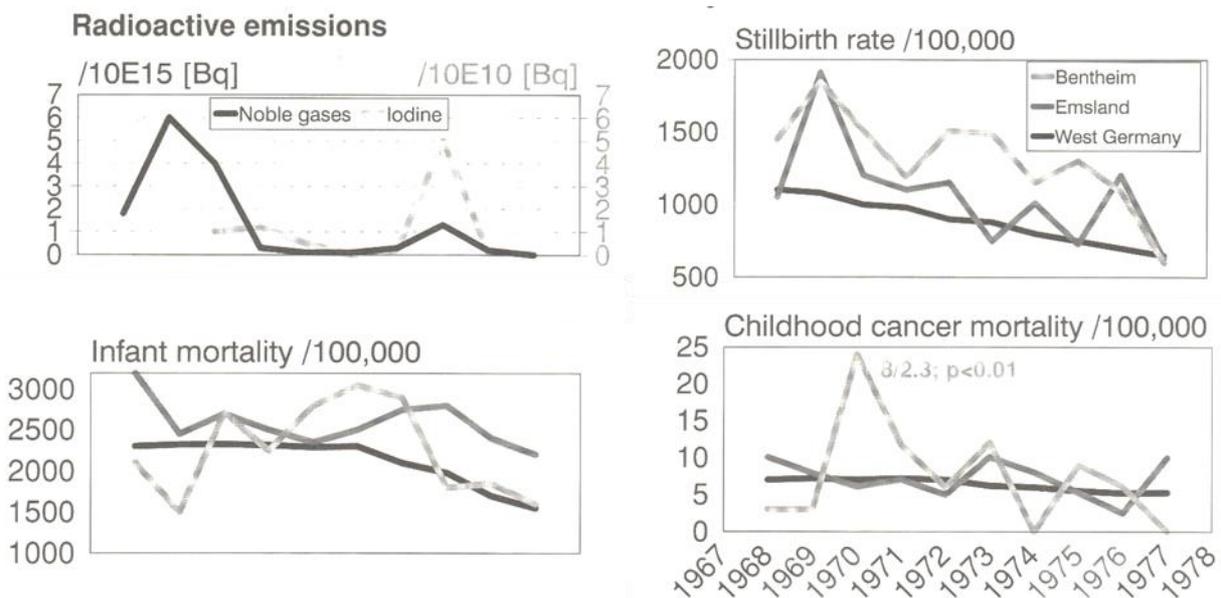


Abbildung 3: Verlauf von Totgeburtenrate (rechts oben), Säuglingssterblichkeit (links unten) und Kinderkrebsmortalität (rechts unten) im Landkreis Bentheim nach Inbetriebnahme des AKW Lingen 1968 (aus Hoffmann 1996)

Für diese wurde dann die Inzidenz in der Nähe der damaligen sechs bayerischen Atomreaktoren (AKW Kahl (Main), Gundremmingen, Isar I, Versuchsreaktor Niederaichbach, Forschungsreaktoren Garching und Neuherberg nahe München) untersucht. Als Kontrollregionen wurden Gebiete ausgesucht, die bezüglich der industriellen und landwirtschaftlichen Nutzung vergleichbar waren. Als Maß für die „Exposition“ wurden drei geografische Regionen um die Anlagen festgelegt: 1) die Gemeinde, in der sich der Reaktor befindet, 2) alle Gemeinden, die mit einem Drittel oder mehr ihres Gebietes innerhalb von 5 km Entfernung um den Reaktor liegen, 3) alle Gemeinden mit einem Drittel oder mehr ihres Gebietes innerhalb von 10 km um den Reaktor (ausgenommen alle Gemeinden, die in 2) enthalten sind). Standardisierte Inzidenzraten (SIR) wurden für beide Geschlechter getrennt sowie für die Altersgruppen 0-14 Jahre und 15-39 Jahre ermittelt.

Im Ergebnis waren die SIR für alle Leistungs- und Forschungsreaktoren zusammengenommen nicht signifikant verschieden zwischen Untersuchungs- und Kontrollgebieten. Erhöhungen wurden

jedoch in der Nähe der beiden Forschungsreaktoren festgestellt. Im 5 km-Umkreis des Forschungsreaktors Garching ergab sich ein SIR für akute Leukämien bei Jungen unter 15 Jahren von 7,83 ($p < 0,05$). Im 10 km-Umkreis des Forschungsreaktors Neuherberg ergab sich eine grenzwertig signifikant erhöhte Rate für akute Leukämien bei Jungen unter 15 Jahren (SIR 1,56; $p < 0,06$), basierend auf 23 beobachteten Fällen. Diese beiden Befunde sind nicht voneinander unabhängig, weil sich die genannten Regionen weitgehend überlappen. Die praktisch 8-fache Erhöhung bei Jungen war der unmittelbaren Umgebung des Reaktors Garching zuzuordnen. Diese Anlage mit 4 MW Leistung war seit 1957 in Betrieb. Trotz ihres vergleichsweise geringen radioaktiven Inventars war ihr Beitrag zur messbaren Umweltkontamination nach amtlicher Angabe im Vergleich mit den anderen Anlagen im Zeitraum 1974-1980 maximal (Grosche et al. 1987b).

Der Siedewasserreaktor Würgassen (Studie Nummer 3, Tabelle 3) befindet sich etwa 30 km nördlich von Kassel im Bundesland NRW dicht an den Grenzen zu Niedersachsen und Hessen. Sein Betrieb mit 640 MW Leistung begann 1971 und endete 1996. Er wurde dementsprechend Untersuchungsobjekt in der deutschen KiKK-Studie (Untersuchungszeitraum 1980-2003). Jedoch ist auch die frühere Handhabung dortiger Leukämiefunde im Zusammenhang mit unserer Thematik berichtenswert. Anfang 1987 machte eine Gruppe von Bürger*innen darauf aufmerksam, dass in der Umgebung eine gehäufte Anzahl von Leukämiefällen bei Kindern und Jugendlichen zu beobachten sei. Der einheimische Kinderarzt Dr. Demuth begann daher eine systematische Dokumentation der vorkommenden Fälle und konnte seine Daten bezüglich der Patient*innen bis zum Alter von 14 Jahren im Folgenden mit den Erhebungen des deutschen Kinderkrebsregisters GCCR in Mainz abgleichen. Dieses lieferte entsprechende Erwartungswerte für ganz Westdeutschland. Demuth fand erhöhte Leukämieraten im 20 km-Umkreis für beide Altersgruppen. Im Februar 1988 veröffentlichte er die Ergebnisse im Eigenverlag. Nach einiger Kritik bezüglich der statistischen Aussagen verfertigte er einen revidierten Report (Demuth 1989) und trug die Ergebnisse auf einem wissenschaftlichen Symposium vor (Demuth 1990). Um einen besseren Vergleich mit anderen Untersuchungen zu haben, analysierte Hoffmann seine Daten neu, in dem er schmalere regionale Ringe um den Reaktor betrachtete (0-10, 10-15, 15-20, 20-25 km) und die Altersgruppen kumulativ ansetzte (0-14 Jahre, 0-19 Jahre). Im Gebiet mit der Entfernung 15-20 km vom Reaktor erhielt er signifikante Erhöhungen um den Faktor 3,05 ($p = 0,036$) für die kindliche Gruppe und um den Faktor 3,90 für die Patienten unter 20 Jahren (Hoffmann 1996). Das Auftreten der vermehrten Erkrankungen in dem verhältnismäßig weiten Abstand von der Quelle wurde von Demuth mit dem sehr hohen Abluftkamin (70 m) und den dortigen Windverhältnissen begründet.

Im Jahr 1993 veröffentlichte G. Prindull, Direktor der Universitäts-Kinderklinik Göttingen, zusammen mit Demuth und einem weiteren Kollegen Ergebnisse einer zusammenfassenden Inzidenzstudie über alle Kinderkrebserkrankungen in der 25 km-Region um den Reaktor Würgassen im Zeitraum 1980-1988. Zwei Arten von Kontrollen wurden gewählt: a) die Daten des GCCR, b) eine Region um Großalmerode, mit gleichen Bedingungen wie die Studienregion, insbesondere in Bezug auf die in Frage kommenden Krankenhäuser und Behandlungszentren. Da Leukämieerkrankungen nur mit anderen malignen Krankheiten des blutbildenden Systems wie Hodgkin-Lymphomen und Non-Hodgkin-Lymphomen zusammengefasst betrachtet wurden (42 beobachtete Fälle), entfiel die von Demuth ermittelte Erhöhung im 15-20 km-Umkreis. Hodgkin-Lymphome gelten als nicht

strahleninduzierbar und strahleninduzierte Non-Hodgkin-Lymphome haben im Mittel sehr viel längere Latenzzeiten (zwischen Exposition und Erscheinen) als akute lymphatische Leukämien (die häufigste Leukämieform bei Kindern). Prindull et al. erwähnen, dass ein Trend für ein erhöhtes Risiko nicht völlig ausgeschlossen werden könne, denn alle SIR beim Vergleich mit Kontrolle b seien größer als 1 und auch alle für die Gesamtkrebsrate im Vergleich mit Kontrolle a, d.h. sie zeigen eine Erhöhung, wenn auch diese nicht statistisch signifikant war. Eine Reanalyse von Hoffmann wiederum nach Entfernungsringen aufgeteilt, die mit den Daten der Vergleichsregion möglich war, ergab Anstiege der Erkrankungsraten für Krebs insgesamt und Krebs des blutbildenden Systems bei geringer werdendem Abstand vom Reaktor (Hoffmann 1996). Die Erkrankungen bei Würgassen haben sicherlich zu dem oben genannten. Ergebnis der KiKK-Studie beigetragen.

In der DDR (Studie Nummer 4, Tabelle 3) waren vor der Wiedervereinigung sechs AKW in Betrieb (fünf Reaktoren in Greifswald 1973-1990 und ein Reaktor in Rheinsberg 1966-1990) sowie ein Forschungsreaktor in Rossendorf (bei Dresden) von 1956-1989. Seit 1953 war die Meldung aller Krebserkrankungen in der DDR Pflicht. Möhner und Stabenow, vormalige Mitarbeiter des Krebsregisters der DDR, gehen davon aus, dass eine nahezu vollständige Registrierung erfolgte, und führten später eine Untersuchung über die Inzidenz von Krebserkrankungen insgesamt und speziell von Leukämien bei Kindern in der Umgebung der DDR-Anlagen durch (Möhner & Stabenow 1993). Für die Untersuchungsgebiete wählten sie die Umkreise 0-5 km, 5-10 km und 10-15 km. Als Kontrolle diente eine Region nahe Stendal, wo ein weiteres AKW geplant, aber nicht gebaut wurde. Das Untersuchungsgebiet umfasste im Untersuchungszeitraum 1961-1988 etwa 30.000 Kinder (<15 Jahren) aus 70 Gemeinden, das Kontrollgebiet betraf 18 Gemeinden mit einer mittleren kindlichen Bevölkerung von 13.400 Personen. Aufgrund geringer Fallzahlen wurden die beiden inneren Regionen zusammen betrachtet. Im Zeitraum 1979-1988 wurden dort 23 Gesamtkrebsfälle beobachtet, davon acht Leukämien. Innerhalb dieser, also im Gebiet 0-10 km, ergab sich eine signifikante Erhöhung der Gesamtkrebsrate mit $RR=1,48$ (1,00-2,08). Bei Greifswald (5 Anlagen) war in dieser Zone kein Leukämiefall registriert worden, das führte insgesamt zu einer nicht signifikanten Erhöhung für alle Krebsarten von $RR=1,77$ (0,88-3,20). Für Rossendorf betrug die Erhöhung $RR=2,11$ (0,92-4,17).

Die Studie Nummer 5 (Tabelle 3) führte Hoffmann im Rahmen seiner Dissertation durch (Hoffmann 1993a). Die Gemeinde Ellweiler liegt im Landkreis Birkenfeld (Rheinland-Pfalz) nahe der saarländischen Grenze in einem Gebiet mit uranhaltigem Untergrund. Seit Ende der 1950er Jahre wurde dort Uranerz zur Gewinnung von Brennstoff für Kernenergiezwecke verarbeitet. Die Abraumhalden der Uranaufbereitungsanlage „Gewerkschaft Brunhilde“ lagen unabgedeckt unter freiem Himmel. In der Bevölkerung wurde ein erhöhtes Auftreten von Blutkrebs bei Kindern und Jugendlichen vermutet und mit der Anlage in Verbindung gebracht. Das Besondere an der Untersuchung war neben der epidemiologischen Bestätigung von vermehrten Krankheitsfällen im 5 km-Umkreis der Anlage, dass stichprobenartig durch biologische Dosimetrie anhand von Chromosomenaberrationen eine Strahlenbelastung nachgewiesen werden konnte. Als wahrscheinliche Belastungspfade durch Radioaktivität konnten das gasförmige Radon in der Umgebung sowie Radium im Trinkwasser in Folge von Auswaschung der Abraumhalden in den Steinaubach ausgemacht werden, der zwischen den Abraumhalden durch das Gelände verläuft und flussabwärts zur Trinkwassergewinnung verwendet wurde (Hoffmann et al. 1993b).

Studie Nummer 6 (Tabelle 3) betrifft einen genetischen Effekt nach Bestrahlung von Eltern. Aus der Wissenschaft ist bekannt, dass ionisierende Strahlung Letalfaktoren an den Chromosomen erzeugen kann, und das auch an den Geschlechtschromosomen, wobei diese hauptsächlich an dem größeren X-Chromosom zu erwarten sind. Das X-Chromosom des Mannes kann nur an Töchter weitergegeben werden. Ein dominanter Letalfaktor dort führt zum Absterben der weiblichen Zygote. Rezessive Letalfaktoren am X-Chromosom sind wesentlich häufiger als dominante (Vogel 1969). Diese können sich auch nur bei den Töchtern auswirken. Das Geschlechterverhältnis bei Neugeborenen - männlich/weiblich - hat sich daher als empfindlicher Parameter bei Niedrigdosisbestrahlungen erwiesen (Scherb et al. 2015).

Fehlbildungen bei Neugeborenen (Studie Nummer 7, Tabelle 3) entsprechen Effekten, die durch Bestrahlung des Ungeborenen (in utero) oder der Keimzellen von Eltern als Mutation entstehen können. Der Physiker Peter Kafka, Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik in München, wertete 1985 Daten des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen für den Zeitraum 1968-1980 aus. Er kam zu dem Schluss, dass im südlichen Bayern im Abluftbereich des AKW Gundremmingen (Block A, seit 1966 in Betrieb) signifikant erhöhte Fehlbildungsraten vorlagen. Der Reaktor erlitt 1977 einen Totalschaden nach einem Unfall. In der Umgebung des seit 1981 betriebenen AKW Grafenrheinfeld (nahe Schweinfurt) registrierten Bürger*innen häufig Radioaktivitätsanstiege.²⁰ Nachdem eine Häufung von Fehlbildungen in der Umgebung aufgefallen war, klagte die „Bürgeraktion Umwelt- und Lebensschutz/Bürgerinitiative gegen Atomanlagen e.V. (BA-BI) im Jahr 1996 erfolglos gegen den Betrieb der Anlage. Sie konnte sich auf einen Bericht des BfS von 1991 (van Santen et al. 1995) beziehen, in dem von erhöhten Prävalenzen von Fehlbildungen bei Grafenrheinfeld berichtet, ein Zusammenhang mit dem AKW allerdings nicht gesehen wurde. Körblein analysierte die Daten in Abhängigkeit von der Entfernung zu den vier bayerischen Anlagen Gundremmingen, Isar, Grafenrheinfeld und Garching im Zeitraum 1984-1991 (Körblein 2008). Es ergab sich im 10 km-Umkreis, dass eine stetig ansteigende Zunahme der Fehlbildungen mit der Nähe zur Anlage beobachtet werden konnte. Besonders auffällig war die Erhöhung der isolierten Organfehlbildungen um den Faktor 2,75 im 5 km-Umkreis des AKW Grafenrheinfeld (Abbildung 4).

Studie Nummer 8 in Tabelle 3 bezieht sich auf eine Untersuchung im Auftrag des BfS, die entsprechend der KiKK-Studie die Rate der Fehlbildungen bei Neugeborenen in der Umgebung deutscher Kernkraftwerke untersuchen sollte, die sogenannte KuKK²¹-Studie von Queisser-Luft und Mitarbeiter*innen (2010). Mangels eines Gesamtregisters für Fehlbildungen in Deutschland erfolgte das in der Umgebung der AKW Philippsburg und Biblis, weil im Bundesland Rheinland-Pfalz an der Universitätskinderklinik Mainz von 1990 bis 2019 ein lokales „Geburtenregister Mainzer Modell“ als Pilotprojekt geführt wurde. Als Studiengebiet wählten die Autor*innen den Umkreis 10 km. Auf Grund des sehr kurzen Untersuchungszeitraums von 15 Monaten (11. November 2006 bis 29. Feb-

²⁰ Sie machten zeitweise kontinuierliche Messungen mit einem Geigerzähler.

²¹ Kinder und Kernkraft

ruar 2008) registrierten die Autor*innen nur 108 Fehlbildungsfälle im Untersuchungsgebiet. Als Ergebnis teilten sie mit, dass im 10 km-Umkreis keine erhöhte Fehlbildungsrate vorliege und das Risiko für angeborene Fehlbildungen auch nicht mit der Nähe zu den AKW zunähme.

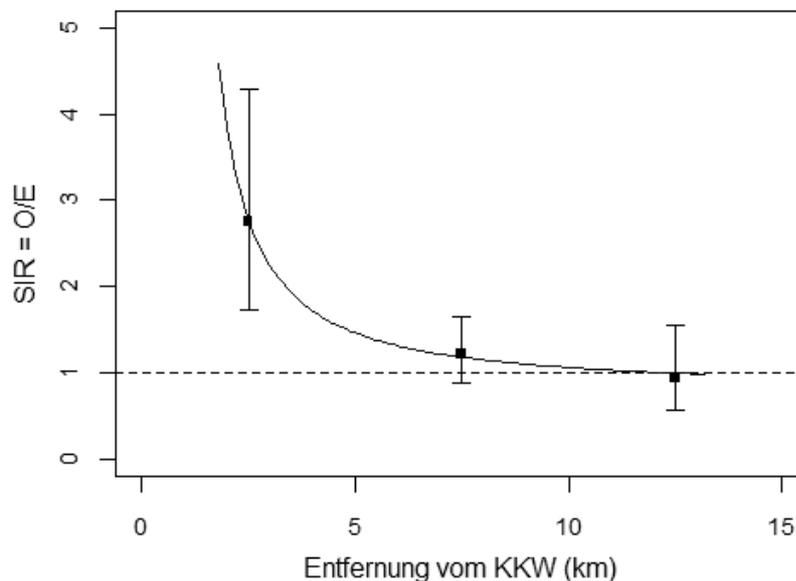


Abbildung 4: Standardisiertes Inzidenzverhältnis (SIR) von angeborenen Fehlbildungen in der Umgebung des AKW Grafenrheinfeld, 1984-1991, und Regressionskurve. Die Fehlerbalken bedeuten 1 Standardabweichung (Daten aus Körblein 2008)

Körblein vermutete, dass dieses Ergebnis im Wesentlichen auf eine ungewöhnlich niedrige Fehlbildungsrate im ländlich geprägten Gebiet um die beiden Anlagen zurückzuführen sei, und wies auf die deutlich verschiedenen Fehlbildungsraten innerhalb des Studiengebietes hin (Körblein 2010). In seiner Analyse berücksichtigte er, dass auf Grund der hohen Abluftkamine im Nahbereich der Anlagen keine erhöhten Aktivitätskonzentrationen zu erwarten waren. Abbildung 5 zeigt die beste Anpassung seiner Modellrechnungen an die Daten der KuKK-Studie. Es besteht daher der Verdacht, dass mit einer Erweiterung der Studiengebiete und vor allem auch der Studiendauer sehr wohl ein eindeutiger Bezug zwischen Fehlbildungsrate und Umweltkontamination aufgezeigt werden kann. Leider besteht eine besonders hartnäckige Verweigerungshaltung beim offiziellen deutschen Strahlenschutz bezüglich strahleninduzierbarer Fehlbildungen (BUND 2019a; b).

Studie Nummer 9 (Tabelle 3) betrifft die ehemalige Kernforschungsanlage Jülich (KFA, jetzt Forschungszentrum Jülich, FZJ) in Nordrhein-Westfalen. Dort wurde von 1967 bis 1988 der Versuchsreaktor AVR betrieben, dessen Reaktorkern aus aufgeschichteten Brennstoffkugeln (Graphit-beschichtetes hochangereichertes Uran) bestand, die mit Heliumgas gekühlt wurden (Kugelhaufenreaktor). Dieser sollte besonders sicher bei Leistungsexkursionen sein und durch höhere Betriebstemperaturen besonders effektiv arbeiten. Es kam jedoch zu mehrfachen Betriebsstörungen und Leckagen aus dem Dampferzeuger mit der Folge, dass der Reaktor sowie Erdreich und Wasser unter dem Reaktor kontaminiert wurden. Erst spät wurde eine betriebsunabhängige Expertengruppe

beauftragt, das Projekt zu evaluieren (Küppers et al. 2014). In deren Abschlussbericht werden Mängel am Konzept und unbeachtete hohe Risiken des Betriebes aufgezeigt, die Verursachung von Gesundheitsschäden in der Bevölkerung wird allerdings wegen angeblich zu niedriger Dosis bestritten.

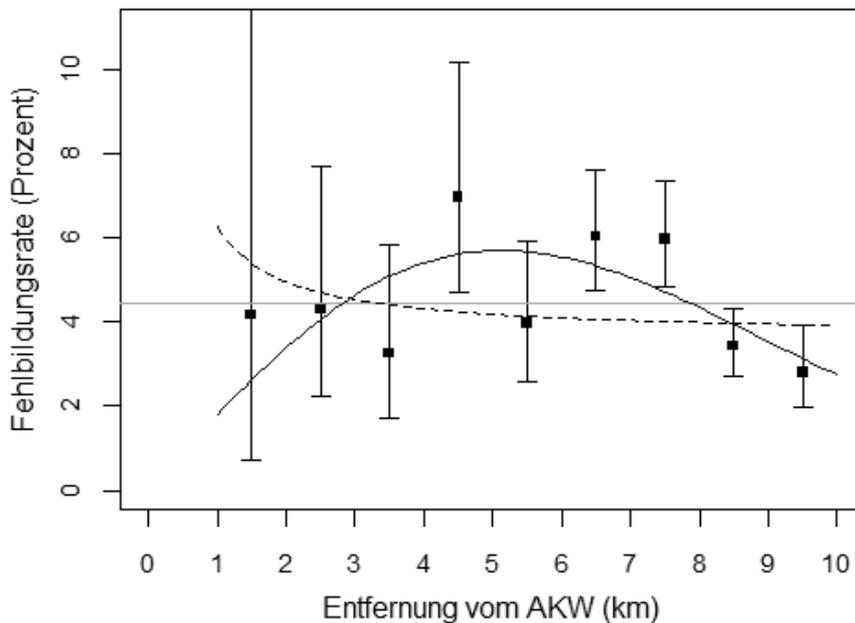


Abbildung 5: Fehlbildungsrate in der Umgebung der AKW Philippsburg und Biblis im Zeitraum 2006-2008 in Abhängigkeit von der Entfernung und Ergebnis einer Regression mit einer Rayleighfunktion für die Abstandsabhängigkeit (Körblein 2010). Die horizontale Linie zeigt den Mittelwert in der Studienregion, die gestrichelte Linie das Ergebnis einer Regression mit einem reziproken Abstandsmodell (Rate nimmt ab mit der Entfernung).

Insider halten die Berechnungen für lückenhaft (Moormann & Streich 2014). Eine Bürgerin aus der Gemeinde Niederzier mit nur 6.800 Einwohnern veranlasste den Nuklearmediziner Horst Kuni zu Recherchen, nachdem dort von 1990 bis 1992 drei akute Leukämien bei Kindern und eine bei einem 15-Jährigen aufgetreten waren. Niederzier liegt etwa 5 km südöstlich vom Forschungszentrum Jülich. Kuni erweiterte das Untersuchungsgebiet um den Bereich 5-10 km (Huchem-Stammeln). Für beide Gebiete zusammengenommen und beide Altersklassen ergab sich eine Erhöhung der Leukämierate im genannten Zeitraum um etwa den Faktor 20 (Kuni 1998).

Die Untersuchungen Nummer 10 (Tabelle 3) betreffen den 300 MW-THTR (Thorium Hochtemperatur Reaktor) in Hamm-Uentrop, der 1971 als Demonstrationskraftwerk nach dem Kugelhaufenprinzip in Auftrag gegeben wurde. Die kugelförmigen Brennelemente mit den Kernbrennstoffen Thorium und Uran hatten 6 cm Durchmesser und eine Graphit-Außenhülle. Noch während der Erprobungsphase im April 1986 ergaben sich Schwierigkeiten mit dem Transport der radioaktiven Brennstoffkugeln durch die Rohrleitungen, weil es zu Kugelbruch gekommen war. Am 4. Mai 1986 entschloss man sich, die verklemmten Kugeln unter dem Schutzschirm der radioaktiven Wolke von Tschernobyl nach außen abzublasen. Darüber informierte ein anonymes Anrufer die Behörden und

das Öko-Institut Darmstadt. Letzteres bestätigte diesen Vorgang anhand des auffälligen Vorkommens von Protactinium 233 ($Pa\ 233$) in der Umgebungsradioaktivität und veröffentlichte seinen Verdacht in einer Pressemitteilung. $Pa\ 233$ entsteht aus Thorium durch Beschuss mit Neutronen, wie sie in einem Kernreaktor vorkommen. Es konnte nicht von dem Reaktor in Tschernobyl stammen, weil dieser kein Thorium enthielt. Erst im Jahr 2015 wurde das Fehlverhalten durch einen ehemaligen Mitarbeiter öffentlich bekannt gemacht (Strahlentelex 2016). Offiziell hieß es daraufhin, die Strahlenbelastung der Bevölkerung sei gering gewesen. Der Reaktor war im Jahr 1989 stillgelegt worden.

Die Schülerin Samantha (11 Jahre) wurde 2012 im Rahmen von „Jugend forscht“ vom Land NRW für ihr Projekt „Hat das stillgelegte AKW Hamm-Uentrop seine Umwelt beeinflusst?“ ausgezeichnet (Seithe 2012). Sie hatte mit Unterstützung durch ihren Lehrer Bodenproben genommen und mittels Geigerzähler auf Radioaktivität überprüft. Unterm Mikroskop zeigten sich metallisch glänzende Kügelchen, die so aussahen wie der Kernbrennstoff des THTR. Samantha untersuchte ferner die Lebenserwartung der Bevölkerung, indem sie die Sterbedaten auf sämtlichen Friedhöfen der Umgebung erhob (3.105 Personen). Das Ergebnis war, dass die Lebenserwartung nach 1980 in der Nähe des Reaktors (<15 km) mit 72,7 Jahren um 2,6 Jahre niedriger war als diejenige in 5 Orten in großer Entfernung von einem AKW (75,3 Jahre). Der Befund erregte öffentliches Interesse. Die NRW-Strahlenmessstelle in Düsseldorf konnte kein Thorium in den Kügelchen entdecken, legte jedoch keinen entsprechenden Nachweis in Messprotokollen vor. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz meinte, es handele sich um Eisenoxid. Die offizielle Erklärung war dann 2013, dass es sich um Überreste des Düngemittels Konverterkalk handeln soll.

Das NRW-Umweltministerium beauftragte das landeseigene Krebsregister, eine Erhebung zur Inzidenz von Krebserkrankungen in der Umgebung des THTR durchzuführen, deren Ergebnis im November 2013 vorlag (Epidemiol. Krebsregister 2013). Der Untersuchungszeitraum betraf die sehr kurze Zeitspanne von 2008-2010. Als Ergebnis wurde mitgeteilt, dass keine erhöhten Krebsfälle beim THTR zu verzeichnen seien mit einer Ausnahme: nämlich Schilddrüsenkrebs bei Frauen mit einer Erhöhung um 64%. Dies sei aber als Strahleneffekt wenig wahrscheinlich, denn sonst hätte man auch eine Erhöhung bei Männern feststellen müssen. Diese Erklärung vernachlässigt zwei wichtige Aspekte. 1) sind die Schilddrüsen von Frauen wesentlich strahlenempfindlicher als von Männern (siehe unten) und 2) sind die Inzidenzen bei Frauen deutlich höher als bei Männern, in den Jahren 2017/2018 betrug das Verhältnis der altersstandardisierten Raten Frauen:Männer 2,44:1 (ZKD 2021). Daher ist nicht nur das relative Risiko größer, sondern auch die absoluten Erkrankungs-raten nach Bestrahlung steigen bei Frauen höher an als bei Männern.

Vom Krebsregister NRW wurden entsprechend insgesamt 70 Fälle bei Frauen und 22 bei Männern in der ausgewählten Reaktorumgebung bei Hamm beobachtet. Aus der Vergleichsregion, dem reaktorfernen Kreis Recklinghausen, ergaben sich als Erwartungswerte 42,7 Fälle bei Frauen und 22,6 Fälle bei Männern und damit in der Tat keine Erhöhung bei Männern. Für Frauen wird eine statistisch signifikante Erhöhung um 64% ($SIR=1,64$) angegeben.

Schilddrüsenkrebs ist der einzige Strahleneffekt, der auch nach Ansicht von UNSCEAR und WHO in der Bevölkerung nach Exposition im Kindes- oder Jugendalter durch den Tschernobyl-Unfall aufgetreten ist. Andere Experten haben ein erhöhtes Risiko auch nach Exposition von Erwachsenen aufgezeigt (Mürbeth et al. 2004). Es wird bei Tschernobyl auf die emittierten radioaktiven Jodisotope zurückgeführt. Die Latenzzeiten können sehr lang sein, nach Ron und Mitarbeitern (1987; 2012) nimmt das strahlenbedingte Schilddrüsenkrebsrisiko erst 30 Jahre nach der Exposition langsam ab. Nach ihrer Übersicht 2012 ist das Excess Relative Risk²² pro Dosis (ERR/Sv) bei Frauen etwa doppelt so hoch wie bei Männern. Weiss gibt an, dass die Inzidenz bei Männern, die zur Zeit des Tschernobyl-Unfalls 10 Jahre alt waren, mehr als 4-fach niedriger lag als bei Frauen (Weiss 2018). Interessanterweise liegt inzwischen eine belgische Studie vor, die in der Umgebung von zwei der vier belgischen Nuklearanlagen eine erhöhte Rate von Schilddrüsenkrebs gefunden hat (Demoury et al. 2017).

Laut Bericht des Krebsregisters NRW existierte in der Region – von den Autoren nicht erwähnt – auch eine erhöhte Leukämierate: Bei Frauen wurden 31 Fälle beobachtet gegenüber 23,0 erwarteten, bei Männern wurden 27 Fälle beobachtet gegenüber 24,9 erwarteten. Bei diesen Erkrankungen besteht kein Grund, die Geschlechter getrennt zu betrachten. Insgesamt ergibt sich ein SIR=1,21, also eine Erhöhung um 21%, und dass wegen des Untersuchungszeitraums (2008-2010) erst 22-25 Jahre nach dem Vorfall beim THTR 1986 (Die Anzahl der Leukämiefälle in den ersten 21 Jahren nach der Freisetzung ist unbekannt). Bei strahlenbedingten Leukämieerkrankungen sind die Latenzzeiten im Gegensatz zu Schilddrüsenkrebs wesentlich kürzer, so dass man davon ausgehen muss, dass die beobachtete Erhöhung nur einen Bruchteil des Gesamteffektes ausmacht.

Aus dem Krebsregister NRW sind folglich typische Strahleneffekte in der Nähe vom THTR Hamm-Uentrop ersichtlich. Laut Pressemitteilung sollte der Frage des erhöhten Schilddrüsenkrebsvorkommens „mit Nachdruck“ nachgegangen werden (Umweltministerium NRW Nov. 2013).

3.4 Kontaminierte Landschaften durch den Uranabbau in Deutschland

Als Hinterlassenschaft des Uranabbaus in Thüringen und Sachsen verblieb eine Fläche von 3.700 Hektar mit 48 radioaktiv kontaminierten Halden und etwa 300 Millionen Kubikmeter Abraum. Die Aufbereitung des Urans zu Yellowcake²³ hinterließ 160 Millionen Kubikmeter radioaktive Schlämme (Uranatlas 2022). Mit Milliardenaufwand wurden die Flächen zugeschüttet und überdeckt, ohne dass jedoch bislang eine dauerhaft erhöhte Grundstrahlung in weitläufigen Gebieten beseitigt werden konnte.

Nach Erhebungen von Dr. Stabenow vom Gemeinsamen Krebsregister der Neuen Bundesländer (GKR) ließ sich in den Gemeinden des WISMUT-Areals ein erhöhtes Auftreten von Krebserkrankungen in der Bevölkerung statistisch nachweisen (Stabenow 2007). Der Untersuchungszeitraum war 1996-2005. Die Erhöhung führt Stabenow ausschließlich auf den Lungenkrebs bei Männern

²² Das „Überschuss“- relative Risiko RR ist definiert als $ERR=RR-1$ (es ist bei dosisproportionalem Effekt ebenfalls proportional zur Dosis)

²³ Enthält etwa 70-90 Gewichtsprozent oxidiertes Uran U_3O_8

zurück und damit auf die Beschäftigten der WISMUT. Dieses ist einerseits ein beruhigendes Ergebnis für die übrige Bevölkerung. Andererseits ist jedoch auch hier zu bedenken, dass die Anzahl der strahlenbedingten stochastischen Effekte wie Krebs und genetische Schäden von der gesamten Strahlenbelastung abhängt, die durch zusätzliche Umgebungsradioaktivität erzeugt wird. Davon werden nach Messungen und Berechnungen des Kirchlichen Umweltkreises Ronneburg (Thüringen) trotz des bisherigen Sanierungsaufwandes noch künftige Generationen betroffen sein (Lange 2009; 2021).

3.5 Weitere Befunde in Großbritannien

Umweltkontaminationen durch britische Nuklearanlagen sind besonders im Zusammenhang mit derjenigen in Windscale – später umbenannt in Sellafield – bekannt geworden. Die Anlagen liegen in Nordwest-England an der Küste der Grafschaft Cumbria und leiten ihre Abwässer in die Irische See. 1951 nahm dort der erste von vier graphitmoderierten Reaktoren den Betrieb auf, die zur Erzeugung militärisch nutzbaren Plutoniums dienten. Dieser erste Reaktor geriet 1957 in Brand und setzte dadurch erhebliche Mengen von Radioaktivität in die Umgebung frei. Das wurde allerdings erst 1983 öffentlich zugegeben. Die erste Wiederaufarbeitungsanlage für abgebrannte Kernbrennstoffe in Windscale zur Gewinnung des Plutoniums arbeitete von 1952 bis 1964. Währenddessen wurden weitere Anlagen auf dem Gelände errichtet, um auch die abgebrannten Brennelemente aus Leistungsreaktoren aus dem In- und Ausland für die sogenannte friedliche Nutzung der Kernenergie aufarbeiten zu können.

In den Jahrzehnten 1980-2000 wurden etliche umfangreiche Umgebungsmessungen auf Radioaktivität in Böden und Nahrungsmitteln durchgeführt, und auch Plutoniumbestimmungen in Milchzähnen (O'Donnell et al. 1997). Die Messungen zeigten erhöhte Kontaminationen bis zu etwa 180 km Abstand, die mit der Entfernung von der Quelle abnahmen. Offiziell wurden diese sämtlich als radiologisch unbedeutend eingeordnet. Zu Zeiten der rot-grünen Regierung unter Bundeskanzler Schröder kamen A. Benischke und C. Küppers vom Öko-Institut Darmstadt im Auftrag des BfS im Jahr 2000 zu dem Schluss, dass die deutschen Grenzwerte für die Bevölkerung – angewandt auf Sellafield – dort um das 20-fache überschritten werden (Report Mainz 2001). Dieses Gutachten wurde nicht veröffentlicht, jedoch sollten die deutschen Aufträge an Sellafield daraufhin eingestellt werden.

Die flüssigen Abfälle der Anlage gelangen über die Irische See bis zur Nordsee, zum Nordmeer und in anliegende Gewässer. Besonders betroffen ist die östliche Küste von Irland nördlich von Dublin. Nachdem bekannt war, dass die dort gefangenen Seefische Plutonium enthalten und der Verdacht aufkam, dass in der betroffenen Bevölkerung erhöhte Krebsraten durch Sellafield erzeugt wurden, vergab die irische Regierung 1998 Forschungsaufträge zur genaueren Untersuchung der Kontaminationen, epidemiologischen Folgen und von Biomarkern für Strahlung in der betroffenen Region unter anderem an die Bremer Universität. Als sich andeutete, dass tatsächlich eine messbare Verstrahlung vorliegt, wurde das Programm eingestellt.

Im Jahr 2001 erhoben die Iren erfolglos Klage gegen die britische Regierung beim Internationalen Seegerichtshof der UN in Hamburg gegen die Inbetriebnahme einer neuen Fabrik in Sellafield zur

Herstellung von MOX-Brennelementen (enthalten Plutonium) wegen der befürchteten Kontaminationen (Strahlentelex 2001).

Den größten Aufruhr in der Fachwelt bezüglich möglicher Schädigungen durch den Normalbetrieb von Nuklearanlagen erzeugte jedoch 1984 das bei Sellafield aufgetretene Leukämiecluster in dem nahegelegenen Ort Seascale. Bei Kindern ab dem Geburtsjahr 1950 waren fünf Todesfälle an Leukämie – entsprechend einer Erhöhung um den Faktor 9,3 – und sieben weitere Krebserkrankungen aufgetreten. Martin Gardner, Professor für medizinische Statistik, interpretierte diesen Befund als genetischen Effekt, denn es stellte sich heraus, dass die Väter der Patient*innen alle in der Anlage gearbeitet hatten (Gardner et al. 1990). Ungeachtet der Tatsache, dass ein solcher Erbfehler sowohl in der experimentellen Forschung als auch nach diagnostischem Röntgen beobachtet worden war, versuchten in den folgenden Jahren eine ganze Reihe von Wissenschaftler*innen, einen genetischen Zusammenhang zu widerlegen.

Gardner starb im Jahr 1993 und erlebte nicht mehr, dass Roman und Mitarbeiter den Effekt in einer Studie an 39.557 Kindern von britischen Nukleararbeitern (1999) sowie Dickinson und Parker an 9.800 Nachkommen von Sellafield-Arbeiter*innen bestätigten (2002). Erstere fanden bei Vätern, die mehr als 100 mSv Dosis vor der Zeugung der später betroffenen Kinder erhalten hatten, eine Erhöhung um den Faktor 5,8. Eine fast doppelt so hohe Rate an Leukämie- und Lymphomfällen als zu erwarten war (Faktor 1,9) ergab sich bei den Sellafield-Arbeiter*innen in allen Dosisklassen zusammengenommen. Gardner konnte auch den Prozess nicht mehr begleiten, den zwei der betroffenen Familien gegen die Betreiber anstrebten (Schmidt & Ziggel 1994). Der Richter berief sich bei der Ablehnung eines Zusammenhangs im Oktober 1993 hauptsächlich auf die Expertise von Sir Richard Doll. Dieser war berühmt und geadelt worden, weil er als Erster die Entstehung von Lungenkrebs durch das Rauchen epidemiologisch belegt hatte. Später trat er unter anderem als einer der heftigsten Leugner von Strahlenschäden im Niederdosisbereich auf. Nach seinem Tod im Jahr 2005 stellte sich heraus, dass er bei der Firma Monsanto einen hochbezahlten Beratervertrag hatte. Er hatte bescheinigt, dass das Umweltgift Agent Orange (Dioxin) nicht krebserregend sei, wie etliche betroffene Veteranen des Vietnamkriegs behaupteten (Metzger 2006; Tweedale 2007). Im Zusammenhang mit der Frage, ob die Fluoridierung von Trinkwasser verboten werden müsse, da sie zu Knochenkrebs führt, wurde ihm und seinem Mitarbeiter Leo Kinlen nachgewiesen, dass sie 1977 entsprechende Daten im Interesse der Befürworter in den USA zurückgehalten hatten (IAOMIT 2007).

Prof. Kinlen erlangte einen hohen internationalen Bekanntheitsgrad nach dem Erscheinen des Leukämieclusters bei Sellafield und spielte auch eine bedeutende Rolle in der Argumentation Dolls beim Prozess. Er stellte die These auf, dass Leukämiecluster durch „Population Mixing“ (PM) entstehen, das heißt durch eine fehlende Immunabwehr, wenn fremde Personen mit einer stationären Gemeinschaft in Berührung kommen und diese mit dort zuvor nicht vorhandenen Erregern infizieren (Kinlen 1988; 2012). In der Arbeit von 2012 berichtet er über 17 aufgefundene Untersuchungen, in denen ein in seinem Sinne „echtes“ PM vorgelegen habe, dass nämlich in vormals isolierte **ländliche** Gebiete ein Zuzug fremder Personen erfolgte. Sein Ergebnis ist mit einem Mittelwert von $RR=1,57$ für die Altersgruppe 0-4 Jahre und $RR=1,72$ für die Altersgruppe 0-14 Jahre quantitativ gering. Nennenswert oberhalb von einer Verdopplung (genauer mit $RR>2,19$) lagen die Cluster von

fünf Studien, davon drei in Verdachtsregionen mit radioaktiver Umweltkontamination (Sellafield, La Hague in Frankreich, Region Fallon in den USA). Ein Cluster mit $RR=3,64$ ermittelte er selbst bei Kindern auf den schottischen Inseln Orkney und Shetland während des 2. Weltkriegs, als sich dort Schutztruppen wegen der nahen Besetzung von Norwegen durch die Deutschen aufhielten (Kinlen & Balkwill 2001). Eine weitere Clusterung mit $RR=10,0$ entnimmt er einer Arbeit über Hongkong im Zeitraum 1984-1990, als dort ein enormer Bevölkerungsanstieg erfolgte (Alexander et al. 1997). Diese Cluster wurden aber in der vergrößerten Gesamtbevölkerung aufgesucht und folgen damit nicht dem Prinzip des „echten“ PM.

Die britische Epidemiologin Freda Alexander, Erstautorin der Hongkong-Studie, hat diese später nicht mehr zitiert. Sie favorisierte zunächst ebenfalls eine Leukämieentstehung durch Infektionen bei PM. Nach Studium der Clusterbildung bei kindlicher Leukämie im Rahmen eines großen europäischen Projekts EUROCLUS kommt sie jedoch zu dem Schluss, dass sich im Allgemeinen nur ein kleiner Effekt zeigt, und es wird ausgesagt: „Die erste und sehr wichtige Schlussfolgerung ist, dass individuelle Cluster wie die in Sellafield und Krümmel seltene Phänomene darstellen und ernsthafte Aufmerksamkeit verdienen“ (Alexander et al. 1998).

Zu den seltenen Phänomenen zählt auch die Häufung kindlicher Leukämiefälle im 25 km-Umkreis der schottischen Nuklearanlage Dounreay, die 1986 zu Tage trat (Black et al. 1992). Mit Beginn im Jahr 1958 wurden dort drei Kernreaktoren und eine Wiederaufarbeitungsanlage für abgebrannte Kernbrennstoffe betrieben. Um zu überprüfen, ob die Krankheiten eventuell mehr auf eine Exposition der Mütter oder auf einen Aufenthalt in der Gegend zurückzuführen seien, wurde in der zitierten Studie eine Geburten-Kohorte (die betroffenen Kinder wurden dort geboren) und eine Schul-Kohorte (die betroffenen Kinder gingen dort zur Schule) gebildet. Im Zeitraum 1969-1988 ergab sich mit acht registrierten Fällen eine Inzidenzerhöhung in der Geburten-Kohorte von 2,3 und in der Schul-Kohorte von 6,7. Erst zwei Jahrzehnte später wurde offiziell eingeräumt, dass die dortige Küste und das anliegende Gelände durch verschiedene Leckagen zwischen 1963 und 1984 radioaktiv kontaminiert worden waren (The Guardian 2011).

Ein Erreger nach Kinlen wurde bislang nicht gefunden. Dennoch schlägt die deutsche SSK im Jahr 2017 vor, als sie sich mit den Ursachen kindlicher Leukämien befasst, dass unter anderem eine mögliche virale Genese weiter untersucht werden solle. Die Möglichkeit strahleninduzierbarer Krebserkrankungen als vererblicher Defekt wird von ihr bestritten, obwohl die genannten Folgen bei britischen Nukleararbeitern auch nach diagnostischem Röntgen festgestellt wurden. Anzumerken ist noch, dass Morris und Buckler (1991) bei Sellafield ein 16-fach erhöhtes Vorkommen des sehr seltenen malignen Augentumors Retinoblastom feststellten, und zwar bei Kindern von Müttern, die einen großen Teil ihrer Kindheit und/oder Jugend in Seascale verbracht hatten.

3.6 Weitere Befunde in Frankreich

Die französische Wiederaufarbeitungsanlage für abgebrannte Kernbrennstoffe La Hague wurde 1966 in Betrieb genommen. Sie liegt auf der Halbinsel Cotentin in der Normandie, etwa 20 km westlich von Cherbourg, und leitet ihre radioaktiven Abwässer über den Ärmelkanal in die Nordsee.

Es handelt sich um einen industriellen Großkomplex auf 300 Hektar Grundfläche. Zeitweise waren die deutschen Atomkraftwerke die Hauptlieferanten für dort aufzuarbeitende Brennstäbe.

Auf Grund der Befunde bei Sellafield entschloss sich Jean-Francois Viel, Professor für Gesundheitswissenschaft an der Universität Besançon, die Leukämierate bei Kindern und Jugendlichen in der Umgebung von La Hague zu untersuchen. Zusammen mit seiner Mitarbeiterin Dominique Pobel untersuchte er 27 Leukämiefälle bei Personen unter 25 Jahren im Zeitraum 1978-1993 im 35 km-Umkreis der Anlage (Pobel & Viel 1997). Sie fanden erhöhte Raten im Zusammenhang mit dem Aufenthalt von Müttern und Kindern an den kontaminierten Stränden der Gegend und dem dortigen Fischkonsum. Das höchste relative Risiko ergab sich mit $RR=4,49$ für die Gruppe mit dem häufigsten Aufenthalt an den lokalen Stränden (mehr als einmal pro Woche).

Unerwartet kam für ihn der öffentliche Sturm an Schmähungen und Drohungen wegen dieses Ergebnisses, den er in einem Buch beschrieben hat (Viel 1998). Seine Universität allerdings bescheinigte seine wissenschaftliche Seriosität. Andere französische Autoren erklärten die beobachteten Leukämieerhöhungen alsbald durch Population Mixing (PM) nach Kinlen (Boutou et al. 2002).

3.7 Normalbetrieb in den Vereinigten Staaten von Amerika

In den USA kam es nach dem 2. Weltkrieg zu einer großen Reihe von radioaktiven Emissionen durch die Anlagen zur Entwicklung und dem Bau von Atombomben, durch die Atombombenexplosionen auf dem Testgelände in Nevada und den Reaktorunfall mit Kernschmelze (Super-GAU) von Three Mile Island (TMI) bei Harrisburg, Pennsylvania, im Jahr 1979. Großflächige Umweltkontaminationen durch die militärischen Anlagen Los Alamos (Entwicklung der ersten Atombombe), Hanford (Produktion von Plutonium), Rocky Flats (Atombombenbau) und Savannah River (Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen und Waffenproduktion) wurden offiziell bestätigt, aber die gesundheitlichen Folgen als nicht erkennbar oder für vernachlässigbar erklärt. Ebenso wurden die Folgen der Atomtests in den USA eingeschätzt. Nach dem TMI-Unfall wurde behauptet, der umgebende Sicherheitsbehälter habe praktisch sämtliche ausgetretenen Radionuklide aus dem Reaktor zurückgehalten. Das Strahlenkomitee der Vereinten Nationen UNSCEAR²⁴ stellte noch in seinem Bericht von 1993 über Quellen und Effekte von Strahlung fest, die Strahlenexposition der umliegenden Bevölkerung sei geringer als 1 mSv gewesen, entsprechend also etwa einer Röntgenaufnahme (UNSCEAR 1993 § 152, S.23). Diese Einschätzung stammt ausschließlich von einer Kommission, die der amerikanische Präsident einberufen hatte (Kemeny 1979).

Bürger*innen dokumentierten jedoch akute Strahlenschäden wie Haarausfall und Hautverbrennungen sowie Missbildungen bei neugeborenen Kälbern (Wing 2003). Der damalige Gesundheitsminister von Pennsylvania, Universitätsprofessor Gordon K. MacLeod, publizierte einen drastischen Anstieg von Schilddrüsenunterfunktion bei Neugeborenen und eine Verdopplung der Säuglingssterblichkeit im Umkreis von 10 Meilen (1981). In den folgenden Jahren kämpften Bürger*innen um die Anerkennung der Strahlenschäden und es kam zu verschiedenen Klagen gegen die Betreiber. Dieses führte zu juristischen Stillblüten wie einem etliche Jahre bestehenden Erlass, dass Bürger*innen als Sachbeistand nur solche Wissenschaftler*innen anmelden dürften, die sich im

²⁴ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

Einklang mit herrschenden Meinungen in der Wissenschaft befänden (Wing 2003). Schließlich wurde erreicht, dass ein staatlicher Fonds zur Nachuntersuchung der Effekte ausgeschüttet wurde. Wing und Mitarbeiter führten eine Untersuchung der Krebsinzidenz im 10 km-Umkreis für den Zeitraum 1975-1985 durch und fanden signifikante Erhöhungen von Leukämie, Lungenkrebs und der Gesamtkrebsrate bereits für den relativ kurzen Zeitraum von nur sechs Jahren nach dem Unfall. Durch den russischen Genetiker Shevchenko und seine Arbeitsgruppe konnte anhand von Chromosomenaberrationen im Blut von Probanden festgestellt werden, dass die Dosis in der Abluft- richtung der Anlage etwa 1 Sv betragen hat (Wing et al. 1997). Klagen von Bürger*innen auf Entschädigung wurden trotzdem abgewiesen. Nach 1993 wurde in den Berichten von UNSCEAR auf den TMI-Unfall nicht mehr eingegangen. Eine erhöhte Rate von Schilddrüsenkrebs wurde über einen Zeitraum von 30 Jahren nach dem Unfall beobachtet (Levin et al. 2013).

Dem Verdacht von Bürger*innen auf erhöhte Leukämieraten bei einem Atomkraftwerk für zivile Zwecke wurde im Fall des Siedewasserreaktors „Pilgrim“ (690 MW) in Massachusetts an der nord- östlichen Küste der USA nachgegangen (Morris & Knorr 1996). Morris und Knorr betrachteten 105 Fälle von akuter lymphatischer Leukämie bei vornehmlich erwachsenen Personen (>13 Jahren), die zwischen 1978 und 1986 im 36 km-Umkreis landeinwärts in 22 Städten aufgetreten waren. Der Vergleich von Fällen innerhalb 6,4 km Entfernung mit den Fällen im übrigen Gebiet ergab eine um den Faktor 3,88 erhöhte Leukämierate. Ebenso ergab der Vergleich von Fällen mit langer Aufenthaltszeit im Abluftgebiet mit solchen mit kurzzeitigen Aufenthalten eine um den Faktor 3,46 erhöhte Leukämierate. Die Autoren sehen einen Dosis-Wirkungszusammenhang, weisen aber auf die geringen ausgewiesenen Emissionen hin.

Mangano und Mitarbeiter untersuchten den Rückgang an Kindersterblichkeit, angeborenen Fehlbildungen und kindlichen Krebserkrankungen nach Stilllegungen der AKW in den USA, die bis zum Jahr 1987 erfolgten (Mangano et al. 2002). Acht der untersuchten Anlagen lagen in Abständen von mehr als 113 km voneinander entfernt und es fanden dort im Untersuchungszeitraum keine weiteren nuklearen Aktivitäten statt. Die Konzentration des Spaltprodukts Strontium-90 in der Milch aus den betroffenen Regionen sank abrupt nach der jeweiligen Schließung der Anlagen und ebenso die Kindersterblichkeit im Gebiet der Abluftfahne der Emissionen innerhalb von 64 km. Verglichen wurden die Raten für den Zeitraum von zwei Jahren vor der Schließung mit den Raten von zwei Jahren nach der Schließung der jeweiligen Anlagen und es ergab sich ein Rückgang um 11% (nach Berücksichtigung des allgemeinen Rückgangs in den USA von 6,4% für die Kindersterblichkeit). Angeborene Fehlbildungen sanken um 17%. Die Krebsrate bei Kindern unter 5 Jahren ging in reaktornahen Gebieten, für die Daten zur Verfügung standen, signifikant zurück (Mangano et al. 2002).

3.8 Normalbetrieb in Kanada

In Kanada wurde eine besondere Reaktorlinie mit Namen CANDU (Canada Deuterium Uranium) entwickelt. Bei dieser wird statt normalem Wasser (H₂O) das sogenannte schwere Wasser (D₂O) als Kühlmittel und Moderator verwendet²⁵. Der Vorteil ist, dass als Brennstoff Natururan ohne Anrei-

²⁵ D Deuterium ist ein Wasserstoffisotop mit einem zusätzlichen Neutron im Kern.

cherung eingesetzt werden kann. Durch Neutroneneinfang im Deuterium entsteht in diesem Reaktor besonders viel Tritium, das radioaktive Isotop des Wasserstoffs, das biologisch als sehr wirksam bekannt ist, da es sich in Biomoleküle einbaut.

1988 berichtete der unabhängige Experte David McArthur über eine auffällige Häufung von Kindern mit Down-Syndrom in der Umgebung des Pickering Reaktors im Staat Ontario, die er mit diesen Tritium-Emissionen in Zusammenhang brachte. Dieser Befund erregte großes nationales und internationales Interesse. In einem Report für die kanadische Atomenergiebehörde wurde das Ergebnis bestätigt (Johnson & Rouleau 1991). Im Zeitraum 1973-1988 wurden in den naheliegenden Städten Pickering und Ajax 24 Fälle an Down-Syndrom registriert und es ergab sich eine Erhöhung um den Faktor 1,9 gegenüber Gesamt-Ontario. Außerdem zeigte sich bei Bevölkerungsgruppen in unterschiedlichen Emissionsgebieten eine 4-fache Erhöhung an Geburtsdefekten des Zentralnervensystems für die höchste Belastungszone. Einen möglichen Zusammenhang mit der Tritiumexposition sah die Atomenergiebehörde nicht.

Wanigaratne und Mitarbeiter (2013) fanden keinen Zusammenhang zwischen der Tritiumexposition und der Krebsinzidenz in der Bevölkerung im Zeitraum 1985-2005 beim AKW Pickering. Vakil & Harvey (2014) wiesen aber darauf hin, dass gerade die empfindlichste Gruppe, Kinder unter 5 Jahren, in der Studie weggelassen wurde und außerdem die notwendigen Beobachtungszeiten, in denen man die Krankheiten nach Exposition erwarten würde, nicht berücksichtigt wurden.

3.9 Normalbetrieb in der Sowjetunion/Russland

In der Sowjetunion entstanden ebenfalls weiträumige Umweltkontaminationen durch Kernbrennstoffe und Spaltprodukte in Folge der Entwicklung von Atomwaffen und durch Atomwaffentests. Nach dem Fall des Eisernen Vorhangs ergab sich eine kurze Epoche von internationaler Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erforschung von Strahlenfolgen bei chronischer Strahlenexposition (wie durch Radionuklide) im Vergleich zur Exposition durch Kurzzeitbestrahlung wie in Hiroshima und Nagasaki (Napier 2014). Mayak ist eine kerntechnische Anlage im Südrural im Bezirk Tscheljabinsk. Sie war die erste nationale Anlage mit Kernreaktoren zur Herstellung von spaltbarem Material für Atomwaffen. Durch einen Unfall in der Anlage im Jahr 1957 gelangten radioaktive Stoffe wie Strontium-90 und Plutonium in den Fluss Tschaja. Die Bevölkerung an dessen Ufer erlitt zahlreiche Gesundheitsschäden (Krestinina et al. 2007). Seit 1987 produziert Mayak kein kernwaffenfähiges Material mehr. Haupttätigkeitsfelder sind seitdem die Produktion von Radionukliden und die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen.

Bei dem nach Angabe der Autoren größten Nuklearkomplex auf der Welt, gelegen in Sibirien bei der Stadt Seversk und seit 1953 in Betrieb, handelt es sich ebenfalls um eine Anlage, die zunächst für militärische Zwecke arbeitete. Erst später wurde sie für zivile Zwecke mit Fabriken zur Herstellung und Wiederaufarbeitung von Brennelementen für Leistungsreaktoren erweitert (Kalinkin et al. 2014). Über verschiedene Unfälle und eine verlorene Klage von Opfern eines Vorfalls im Jahr 1993 beziehungsweise der Hinterbliebenen gegen die Betreiber wurde unter anderem von Greenpeace berichtet. Kalinkin et al. untersuchten die Krebssterblichkeit der Bevölkerung in Seversk zwischen 1970-2005 und fanden in diesem Zeitraum einen Anstieg um den Faktor 3,2.

3.10 Normalbetrieb in Japan

Angeregt durch die ersten Untersuchungen des Mainzer Instituts in Deutschland führten Iwasaki und Mitarbeiter eine Studie über die Sterblichkeit an Leukämie und Lymphomen in der Nähe von AKW in Japan für den Zeitraum 1973-1987 durch (Iwasaki et al.1995). Sie kamen zu dem Schluss, dass an keinem der untersuchten Standorte eine Auffälligkeit vorlag. Hoffmann und Mitarbeiter analysierten die Daten zusammenfassend (Hoffmann et al. 1996). Es ergaben sich 307 Leukämietote für alle Altersklassen im Vergleich zu 251 erwarteten Fällen an Hand der japanischen Nationalrate und somit eine Erhöhung um 22%.

3.11 Schlussfolgerungen

Bei den national und international wiederholt beobachteten Gesundheitsschäden im Nahbereich von Atomanlagen, die durch niedrige Strahlendosen induzierbar wären, wird ein Zusammenhang mit Radioaktivität offiziell stets mit dem Argument abgelehnt, die Emissionen der Atomanlagen seien dazu zu gering. Dieses Argument ist nicht plausibel und wissenschaftlich nicht belegbar. Zum Beispiel hat die SSK bei der Bewertung der KiKK-Studie erklärt, dass für die ermittelte Verdopplung der Leukämierate bei Kindern unter 5 Jahren innerhalb des 5 km-Radius der AKW eine mittlere Dosis von mindestens 10 mSv erforderlich wäre (SSK 2008). Laut SSK sei aber die Strahlenexposition der Referenzperson durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den AKW – trotz ihrer hohen Konservativität – so niedrig, dass die beobachteten erhöhten relativen Risiken für Leukämie in den 5 km-Radien der AKW der KiKK-Studie damit nicht erklärt werden können. (SSK 2008)

Wie bereits ausgeführt, kann bei Inkorporation von Radionukliden das Ergebnis dieser Berechnung auf der Grundlage verschiedener modellhafter Annahmen an der Referenzperson nicht experimentell überprüft werden. Unsicherheiten um einige Größenordnungen sind z.B. durch das Lungenmodell der ICRP vorprogrammiert, das zur Ermittlung der Organdosen bei Inhalation verwendet wird.²⁶

Das Lungenmodell der ICRP umfasst 482 Seiten (ICRP 1994). Es war Anlass für weitere umfangreiche Forschungen zu den einzelnen eingehenden Parametern. M.A. Roy von der französischen Behörde für Strahlenschutz und Reaktorsicherheit (1998) ermittelte durch Variation der Parameter in ihren angenommenen Unsicherheitsbereichen, dass der Vertrauensbereich des Ergebnisses je nach Nuklid bis zu zwei Größenordnungen und mehr umfassen kann (Verhältnis zwischen kleinstem und größtem Wert im 90%-Wahrscheinlichkeitsbereich). Wissenschaftler*innen, die für staatliche Strahlenschutzbehörden in Frankreich, Großbritannien und den USA arbeiten beziehungsweise gearbeitet haben, weisen auf die große Komplexität der physikalischen, chemischen und physiologischen Eigenschaften hin, die simuliert werden müssen (Paquet et al. 2016). Sie stellen auch dar, dass die Ergebnisse für die Referenzperson nur für Strahlenschutz zwecke verwendet werden sollten, für epidemiologische Untersuchungen seien die Unsicherheiten bei den Parametern

²⁶ Es beschreibt den Transfer von eingeatmeten Radionukliden durch die verschiedenen Kompartimente der Lunge, von wo sie dann an die übrigen Organe verteilt werden. Als Ergebnis wird die geforderte Organdosis für das jeweilige Nuklid – bei Leukämie die Knochenmarksdosis – durch eine bekannte Menge aufgenommener Radioaktivität berechnet. Damit wird dann folglich der menschliche Stoffwechsel z.B. für Erwachsene durch eine einzige Zahl repräsentiert (grob unterschieden noch nach physikalischen und chemischen Eigenschaften der eingeatmeten Substanz). Das muss bereits vom Ansatz her fragwürdig erscheinen.

und die individuellen Unterschiede zu berücksichtigen. Das steht im Widerspruch zur Aussage der SSK.

Wenn der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung jeweils wirklich konstant weit unterschritten worden wäre, dürften gesundheitliche Folgen tatsächlich bei der verhältnismäßig geringen Größe der beobachteten Kollektive statistisch nicht erkennbar sein. Die Erfahrungen zeigen aber, dass kleinere Freisetzungen/Leckagen nicht vermieden werden können. Zudem werden jeweils nur die Mittelwerte der Emissionen betrachtet, höhere Freisetzungen in kurzen Zeiträumen sind aber nicht auszuschließen. Darüber hinaus erfolgen auch bei der Ermittlung der Dosis aus den Freisetzungen eine Reihe von Mittelungen und Vereinfachungen wie am Beispiel des Lungenmodells ausgeführt wurde, so dass die real erhaltene Dosis für einzelne Menschen insbesondere für Säuglinge und Kinder größer sein kann.

Auch wenn sich der Befund der KiKK-Studie und anderer vergleichbarer Studien mit der bisherigen Methodik zur Ermittlung der Wirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Organismus nicht erklären lassen, folgt daraus nicht zwangsläufig, dass niedrige Dosen ionisierender Strahlung als Ursache für Leukämie und Krebserkrankungen ausgeschlossen werden dürfen. Daraus folgt eher, dass die Methodik Defizite aufweist und das Wissen im Bereich der Strahlenwirkung noch lückenreich ist.

Eine Tatsache ist jedoch bekannt, ein Betrieb von Atomanlagen und ein Umgang mit radioaktiven Stoffen ist auch bei Einhaltung der Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung mit Risiken verbunden. Auch unterhalb der Dosisgrenzwerte gibt es ein Risiko für später tödlich verlaufende Krebserkrankungen und Schäden bei den Nachkommen. Das Risiko wird umso größer, je größer die Dosis ist. Zudem wird zunehmend deutlich, dass auch andere Krankheiten in Zusammenhang mit ionisierender Strahlung stehen.

Die Beachtung von Gesundheitsschäden und vorzeitigen Tod durch den „Normalbetrieb“ von Atomanlagen muss daher bei der Abwägung von Risiken und Nutzen der Atomenergie einfließen.

4. Strahlenschutz mit überholten Standards

Die in Kapitel 3 genannten Untersuchungen entstanden durch mehr oder weniger zufällige Beobachtungen und Verdachtsmomente. Der „Normalbetrieb“ von Nuklearanlagen mit den vielen kleineren Störfällen trägt zu dem seit Langem beobachteten Anstieg von Krebserkrankungen bei Kindern und Erwachsenen in Deutschland sowie in anderen Industrienationen bei und auch zu der auffällig hohen Rate an angeborenen Fehlbildungen in Deutschland (BUND 2017; 2019). Eine genaue Bilanzierung der Strahlenfolgen ist wegen des stochastischen Auftretens von Krebs und genetischen Schäden nicht möglich. Diese würde zudem dadurch erschwert, dass ein Teil der beobachteten Schäden durch andere Faktoren wie Umweltgifte und diagnostisches Röntgen bedingt sein kann.

Die Internationale Atomenergiebehörde IAEA (International Atomic Energy Agency) in Wien ist eine Einrichtung der Vereinten Nationen. Sie dient der Kontrolle von militärischen Anlagen sowie der Förderung der „friedlichen“ Nutzung der Atomenergie und sie verfügt über großzügige Mittel zur Bewertung der wissenschaftlichen Erkenntnisse über deren Auswirkungen. Unter Atomkritiker*innen ist weitgehend bekannt, dass ein Vertrag aus dem Jahr 1959 zwischen der IAEA und der Weltgesundheitsorganisation WHO, ebenfalls Organ der Vereinten Nationen, die WHO zur Absprache bei der Bewertung von Strahlenfolgen verpflichtet. Das hat unter anderem bis heute zu einer deutlichen Unterschätzung und Verharmlosung der Tschernobyl-Folgen durch die WHO geführt. Die gängige Begründung ist wieder einmal die These, dass die (errechnete) Bevölkerungsdosis zu klein sei, um nachweisbare Gesundheitsschäden zu erzeugen.

Unbeirrt durch vielfältige neue wissenschaftliche Erkenntnisse, wie sie sich im Berufsbereich, durch Umweltradioaktivität und nach medizinischer Diagnostik gezeigt haben (BUND 2017), hat das Strahlenkomitee der Vereinten Nationen UNSCEAR daran gearbeitet, so etwas wie eine unschädliche „Dosischwelle“ zu schaffen. In einem „Korrigendum“ von 2016 zum Report von 2008 hat das Komitee folgendes Statement abgegeben: *„For most tumour types in experimental animals and in man a significant increase in risk is only detectable at doses above 100 mGy“* (UNSCEAR 2011). Dieses Statement suggeriert, dass es unter einem Wert von 100 mSv praktisch keine erkennbaren Krebsrisiken gibt. 100 mSv in 5 Jahren ist gerade der Dosisgrenzwert für beruflich Strahlenexponierte. Die medizinische Strahlendiagnostik – eine einzelne CT-Untersuchung kann durchaus zu einer Organdosis von 100 mSv führen – wäre dann ebenfalls völlig unproblematisch, insbesondere auch weil UNSCEAR und ICRP der Ansicht sind, dass es ein genetisches Strahlenrisiko wahrscheinlich gar nicht gibt.

Die Einschätzung über strahlenbedingten Krebs, die in Deutschland von SSK und BfS mitgetragen wird – wenn auch nur für Erwachsene (SSK 2018; BfS 2022b) – wurde vom hochangesehenen Forschungsinstitut in Hiroshima nicht geteilt. Dessen Wissenschaftler*innen betonen in neueren Studien an den japanischen Überlebenden, dass Krebserkrankungen signifikant erhöht auch im Dosisbereich 0-100 mSv auftreten und nicht geringer sind, als es einem dosisproportionalen Risiko entsprechen würde (Pierce & Preston 2000; Grant et al. 2017).

Bezüglich des genetischen Risikos heißt es im UNSCEAR-Report 2001 „Hereditary Effects of Radiation“ in Paragraph 54.2 (S. 84) wie folgt: *„No radiation-induced genetic (=hereditary) diseases have so far been demonstrated in human populations exposed to ionizing radiation.“* In der ICRP-Publikation Nr. 103 von 2007 im Abs. 3.2.2. (Risk of heritable effects) auf S. 53, auf die sich auch das deutsche Strahlenschutzgesetz beruft, heißt es: *„(74) There continues to be no direct evidence that exposures of parents to radiation leads to excess heritable disease in offspring“*. Immerhin werden mit Hinweis auf Ergebnisse der experimentellen Forschung von beiden Institutionen geringfügige Risikowerte im Sinne eines stochastischen Prozesses abgeleitet.

Die ICRP wiederum hat in ihren Empfehlungen von 2007 erstmalig angegeben, dass bei Exposition in utero eine unschädliche Dosischwelle von 100 mSv bestehe. Dieses Ergebnis wurde von einer eigens einberufenen Arbeitsgruppe unter dem Vorsitz von Prof. Streffer aus Essen erarbeitet (ICRP

2003). Zu den zahlreichen Befunden über Nicht-Krebskrankheiten, die für berufsmäßig Strahlen-exponierte und auch bei den japanischen Atombombenüberlebenden vorliegen, hat sich die ICRP ebenfalls geäußert. Sie nimmt vorläufig an, dass diese nicht unter 500 mSv zu erwarten sind. Diese Annahme ist nicht nachvollziehbar, denn die mittlere Dosis bei den Atombombenüberlebenden liegt bei nur 200 mSv (Ozasa et al. 2013) und bei den diesbezüglichen beruflichen Kollektiven kommen so hohe Dosen wie 500 mSv nur äußerst selten vor.

Es wird jedoch anerkannt, dass bei Bestrahlung *in utero* Krebs bei den später geborenen Kindern induziert werden kann. In den historischen Debatten spielten die Ergebnisse der englischen Ärztin und Epidemiologin Alice Stewart (1906-2002) eine große Rolle. In den 1950er Jahren hatte sie ein Projekt zur Erforschung der Ursachen kindlicher Krebserkrankungen begonnen, den Oxford Survey of Childhood Cancer (OSCC). 1956 veröffentlichte sie erstmalig, dass diagnostisches Röntgen bei schwangeren Frauen – ausgeführt vornehmlich bei Lageanomalien oder Verdacht auf Zwillinge – Leukämie bei den später geborenen Kindern auslöst (Stewart et al. 1956). Es ergab sich, dass eine einzige Röntgenaufnahme mit damaliger Dosis – etwa 5 mSv – das Leukämierisiko verdoppelt, also um 100% erhöht, und dass auch andere Krebserkrankungen im Kindesalter durch niedrige Strahlendosen *in utero* induziert werden können.

Der OSCC war ein nationales Projekt in Großbritannien. Die Fragestellungen umfassten zahlreiche mögliche Risikofaktoren, das Projekt war also nicht spezifisch auf Strahlen ausgerichtet. Es wurde 1956 als Fall-Kontrollstudie von Alice Stewart an der Universität Oxford begonnen und seit 1975 im Department für Sozialmedizin an der Universität Birmingham weitergeführt. Die erste Veröffentlichung umfasste etwa 600 kindliche Leukämie- und 700 kindliche Todesfälle durch andere Krebsarten. Das Studienkollektiv wurde in den folgenden Jahrzehnten erweitert zu einer der weltweit größten Studien dieser Art.

In ICRP 60 aus dem Jahr 1991 werden Arbeiten aus der OSCC in der Literatur zitiert, aber nicht im Text. Dort wird in § 92 auf die Möglichkeit der Krebsentstehung nach Exposition *in utero* hingewiesen, die Datenlage aber als widersprüchlich und unsicher beschrieben. Das absolute Risiko wird als höchstens ebenso hoch wie bei Bestrahlung der Gesamtbevölkerung eingeschätzt.

Erst ab 1997 – also 40 Jahre später – entschlossen sich Wortführer des Establishments wie der oben genannte Sir Richard Doll nach zahlreichen Wiederholungen durch andere Wissenschaftler*innen zur Anerkennung der OSCC-Befunde (Doll & Wakeford 1997). Bei UNSCEAR und ICRP ist die Rede von Effekten bei 10-20 mSv. Dass Röntgen von Schwangeren nur in Ausnahmefällen indiziert ist, ist allgemeiner Standard in der Medizin. Es beruht tatsächlich auf den frühen epidemiologischen Ergebnissen zur Krebsinduktion *in utero*.

In ICRP 90 aus dem Jahr 2003 werden die Ergebnisse des OSCC ausführlich behandelt und mit vielen anderen Studien verglichen. Die OSCC Ergebnisse werden als konsistent mit anderen Studien nach **medizinischer** Exposition beschrieben. Insgesamt wird das Risiko mit $RR=1,49$ pro Untersuchung als gering eingeschätzt, als Verdopplungsdosis wird 30 mSv abgeschätzt. Vertrauensbereiche werden nicht angegeben. ICRP 90 empfiehlt besondere Aufmerksamkeit beim Strahlenschutz in den ersten Wochen der Schwangerschaft.

Im Gegensatz zu dieser etablierten Strahlenschutzvorsorge dürfen seit der im Jahr 2001 geänderten deutschen Strahlenschutzverordnung Schwangere auch im radioaktiven Kontrollbereich arbeiten (dort ist die jährliche Dosis größer als 6 mSv pro Jahr, für Beschäftigte darf die Dosis maximal 20 mSv betragen)²⁷. Die Dosis einer Schwangeren ist begrenzt auf 1 mSv, aber erst vom Zeitpunkt der Meldung der Schwangerschaft.

Hinzu kommt das gelegnete Risiko für Fehlbildungen bei Bestrahlung *in utero*. Neuerdings sind gerade in Deutschland erhöhte Fehlbildungsraten bei Kindern beruflich Exponierter festgestellt worden (BUND 2019a). Durch das schon genannte lokale „Geburtenregister Mainzer Modell“ ergab sich die Möglichkeit, Fehlbildungen bei Kindern von beruflich strahlenexponierten Frauen zu untersuchen. Schon 2011 wurde veröffentlicht, dass sich erhöhte Fehlbildungsraten bei Kindern von Frauen aus dem medizinischen Bereich gezeigt hatten. Diese Untersuchungen wurden fortgesetzt (Wiesel et al. 2016). Bei 27 Geburten wiesen acht Neugeborene „große“ Fehlbildungen auf. Dies entspricht im Vergleich zur Kontrollrate einer Erhöhung um den Faktor 3,8. Dabei ist die Kontrollrate in Deutschland bereits extrem hoch, wie aus Daten von EUROCAT (europäische Sammelstelle für Geburtsfehler) hervorgeht (Morris et al. 2018).

Mit „großen“ Fehlbildungen sind im Mainzer Register Formabweichungen des Körpers gemeint, die die Lebensfähigkeit beeinträchtigen und interventionsbedürftig sind (Queisser-Wahrendorf et al. 2016; Beispiele: Offener Rücken, Darmverschluss, Herzfehler, Gehirnentwicklungsstörungen, Gesichtspalten, fehlende Gliedmaßen). Maßnahmen in der Gesundheitspolitik sind dennoch auf Grund der ICRP-Standards nicht zu erwarten.

Die genannten Empfehlungen (ICRP 103 von 2007) sind als Grundlage für das neue deutsche Strahlenschutzgesetz von 2017 auch die Grundlage für die neue Röntgenverordnung. Beide Regelwerke mussten in Folge der EURATOM-Richtlinie 2013/59 revidiert werden. Deutschland ist Mitglied der europäischen Atomgemeinschaft EURATOM und daher vertraglich gebunden, hat aber, wie alle Mitgliedsländer nach EU-Recht auch die Möglichkeit, aus gesundheitlichen Überlegungen strengere Grenzwerte zu erlassen.

Diese Möglichkeit wird im Ausstiegsland Deutschland aber nicht genutzt. Stattdessen erfolgt eine rückwärtsgewandte Anpassung bei bereits fortschrittlicheren Ansätzen. So hat sich die SSK bezüglich des sogenannten Dosis- und Dosisleistungseffektivitätsfaktors (DDREF²⁸) verhalten. Die ICRP behauptet immer noch, bei chronischer Bestrahlung wie an Arbeitsplätzen wäre bei gleicher Gesamtdosis der Effekt nur halb so groß wie bei Kurzzeitbestrahlung (Atombombenexplosion)²⁹. Die Ergebnisse aus den Studien an den japanischen Überlebenden sollen ja unter anderem dazu dienen, das Strahlenrisiko für Beschäftigte oder die Bevölkerung bei gegebener Dosis zu ermitteln. Dazu werden sie aber mit dem genannten Argument erstmal durch zwei geteilt. Die SSK hatte das im Jahr 2006 und später als nicht mehr vertretbar angesehen und die Abschaffung des Faktors

²⁷ Tätigkeitsverbote und Tätigkeitseinschränkungen zum Schutz des ungeborenen Lebens wurden gestrichen. Als Begründung wird angegeben, Einschränkungen im Beruf würden Frauen diskriminieren.

²⁸ DDREF Dose and dose-rate effectiveness factor

²⁹ In Vergessenheit geriet dabei, dass dieses frühe Dogma eigentlich nur für locker ionisierende Strahlung (Röntgen, Gamma, Beta) galt und niemals für Alphastrahlen (Radon, Plutonium).

empfohlen (SSK 2006; 2014). Neuerdings sieht sie keinen aktuellen Handlungsbedarf und empfiehlt, den „DDREF erst im Zuge einer eventuellen späteren generellen Anpassung gegebenenfalls abzuschaffen“ (SSK 2018, S. 45). Für Arbeitnehmer*innen mit einer Krebserkrankung kann die fälschliche Halbierung des Risikos bei der Frage einer berufsbedingten Schädigung sehr wesentlich sein.

Der seit 2021 geltende Paragraph 9, Absatz 2, im Sozialgesetzbuch (SGB) VII im Berufskrankheitenrecht besagt, dass Krankheiten, die nach neuen Erkenntnissen der medizinischen Wissenschaft beruflich bedingt sein können und vorher nicht als solche eingestuft waren, als BK anzuerkennen sind. Nach unserer Erfahrung wird dieser jedoch keine Verbesserung der Anerkennungsverfahren herbeiführen. Denn wer bestimmt, worin der Stand der Wissenschaft besteht? Die BGs haben bislang Gutachten von Kritiker*innen zu ihren Ablehnungsbescheiden mit dem Argument für irrelevant erklärt, es handele sich um „Einzelmeinungen“. Das heißt, man muss nicht die Sachverhalte überprüfen, die vorgetragen werden, sondern kann auf ein ausgewähltes, unabhängiges Kollektiv von Expert*innen verweisen, deren Mitglieder sich durch die besonders gute Qualität ihrer wissenschaftlichen Beiträge für übergeordnete Aufgaben qualifiziert haben.

Diese Hierarchisierung ist in der Strahlenmedizin und Strahlenbiophysik schon früh favorisiert worden. Sie wurde am Beispiel der Prozesse über die Gesundheitsschäden durch den Reaktorunfall 1979 in den USA von Three Mile Island durch den Forscher Wing aufgezeigt, der den gerichtlichen Bezug auf eine fiktive Kaste in Ausübung „objektiver“ Wissenschaft außerhalb der Gesellschaft beklagt (Wing 2003). In Deutschland hatte es sich unter anderem der spätere BfS-Präsident Kaul zur Aufgabe gemacht, Kriterien zu entwickeln, wie man wissenschaftliche Ergebnisse – auch oder überhaupt nur wenn sie „peer-reviewed“ sind – auf ihre Qualität überprüfen kann (Kaul et al. 1984). Wenn solche Erkenntnisse sich dann als ungenügend erweisen, solle man sie aus dem wissenschaftlichen Diskurs entfernen. Zum Beispiel sei das gegeben, wenn in epidemiologischen Studien mit Strahlenexposition die Höhe der verabreichten Dosis nicht präzise bekannt ist.

Mit dieser Sichtweise lässt sich begründen, dass UNSCEAR, ICRP und SSK zahlreiche Veröffentlichungen zu Niederdosiseffekten durch den Super-GAU in Tschernobyl, durch diagnostisches Röntgen, Umweltkontaminationen oder aus anderen Bereichen nicht berücksichtigen, geschweige denn, dass sie sich mit widersprechenden wissenschaftlichen Arbeiten angemessen befassen.

Bürger*innen, die gesellschaftlichen Instanzen nicht mit blindem Vertrauen begegnen, sehen sich also im Falle eines möglichen Strahlenschadens der unverrückbaren Beurteilung eines kleinen Kreises von Wissenschaftler*innen gegenüber. Diese Komitees werden nicht demokratisch gewählt, sondern erneuern und ergänzen sich im Wesentlichen auf Vorschlag und mit Billigung der schon vorhandenen Mitglieder. Es ist sicherlich kein Zufall, wie in diesem Beitrag belegt wird, dass die Ergebnisse dieser Wissenschaft mit den Bewertungen der Atomkraft-Befürworter*innen im Allgemeinen nicht kollidieren. Darum besteht die Aufgabe, die Strukturen im Strahlenschutz zu reformieren und durch eine angewandte Forschung, die die Fehler der Vergangenheit aufarbeitet, zu ersetzen. Es darf nicht versucht werden, Fakten und Evidenzen durch einseitige, den Atomkraft-Befürworter*innen gefällige Einwände zu relativieren.

Der US-amerikanische Genetiker Herman Joseph Muller hatte bereits in den 1920er Jahren entdeckt, dass Röntgenstrahlen mutagen sind. Sein Studienobjekt war wegen der schnellen Generationsfolge vornehmlich die Taufliege *Drosophila*, bei deren Nachkommen er Missbildungen des Körpers und der Organe nach Bestrahlung in Abhängigkeit von der Dosis feststellte. Er schloss aus seinen Untersuchungen, dass auch niedrige Strahlendosen wie etwa durch die natürliche Umgebungsstrahlung mutagen sind. In den 1930er Jahren entwickelte sich die Vorstellung, dass Krebs durch die Mutation einer einzelnen Körperzelle ausgelöst wird. Daraus schloss Muller, dass es auch für strahleninduzierten Krebs keinen unschädlichen Dosisbereich geben könne. Für seine Forschung erhielt er 1946 den Nobelpreis für Medizin (siehe z.B. Muller 1936).

Als berühmter Strahlenforscher sollte Muller auf der Genfer Atomkonferenz im Jahr 1955 einen Festvortrag halten. Da aber vor der Konferenz bemerkt wurde, dass er vor einer Schädigung des genetischen Pools der Menschheit durch die Erzeugung der gewaltigen Mengen an künstlicher Radioaktivität gewarnt hatte, die durch die neue Technik zu erwarten waren, wurde er wieder eingeladen (sein vorbereitetes Manuskript gibt es noch).

Zu den Wissenschaftlern, die früh auf die Gefahren der Nutzung der Atomenergie hinwiesen, gehörten der Medizophysiker John Gofman und der Biologe Arthur Tamplin, die in ihrem Buch von 1971 „Poisoned Power. The Case against Nuclear Power Plants“ aufzeigten, dass die herrschenden Ansichten über Strahlenwirkungen falsch und gefährlich waren. Sie hatten als Gutachter für die amerikanische Atomic Energy Commission AEC gearbeitet, der ersten Behörde, die die Regierung zur Förderung und zur Kontrolle der amerikanischen Atomindustrie eingerichtet hatte.

Die seit Beginn der sogenannten friedlichen Nutzung der Atomenergie dominierende Vertuschungs- und Verharmlosungsstrategie hat auf allen Gebieten des Strahlenschutzes, beim sogenannten Normalbetrieb von Atomanlagen, aber auch in der medizinischen Diagnostik viele Opfer gefordert und es besteht die Gefahr, dass sich dies fortsetzt. Das gilt über die kommenden Jahrzehnte besonders für den Rückbau von Atomkraftwerken. Hier braucht der Strahlenschutz für Beschäftigte und die Bevölkerung eine stärkere Berücksichtigung der immer weiter zunehmenden Evidenz aus der internationalen Forschung und Wissenschaft zur Auswirkung der Niedrigstrahlung. Ein rationaler Umgang mit den Risiken ionisierender Strahlung muss jetzt beginnen und auch die Zwischen- und Endlagerung der radioaktiven Abfälle umfassen.

5. Referenzen

- Alexander FE and 10 authors: Clustering of childhood leukaemia in Hong Kong: association with the childhood peak and common acute lymphoblastic leukaemia and with population mixing. *Brit J Cancer* 75 (1997) 457-463
- Alexander FE and 19 authors: Spatial clustering of childhood leukaemia: summary results from the EUROCLUS project. *Brit J Cancer* 77 (1998) 818-824
- BfS Bundesamt für Strahlenschutz: Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki: Bedeutung für den Strahlenschutz. 2022a [bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/einfuehrung/atombomben/atombomben-strahlen-schutz.html](https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/einfuehrung/atombomben/atombomben-strahlen-schutz.html)
- BfS Bundesamt für Strahlenschutz: Risikoabschätzung und -bewertung. Fachliche Stellungnahmen, Ionisierende Strahlung. 2022b www.bfs.de
- BG ETEM (Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse): Rückbau von Kernkraftwerken: Arbeitsschutz frühzeitig einplanen. Stand 27.03.2021 www.bgetem.de/aktuelles
- BI (Bürgerinitiative) gegen Leukämie in der Elbmarsch, Ges. f. Strahlenschutz e.V., IPPNW (Hrsg.): Die Elbmarschleukämien - Stationen einer Aufklärung. Dokumentation, Marschacht im Dezember 2006 www.strahlenschutz-gesellschaft.de (Literaturhinweise)
- Black RJ, Urquhart JD, Kendrick SW, Bunch KJ, Warner J, Jones DA: Incidence of leukaemia and other cancers in birth and school cohorts in the Dounreay area. *Brit Med J* 304 (1992) 1401-1405
- Boutou O, Guizard A-V, Slama R, Pottier D, Spira A: Population mixing and leukaemia in young people around the La Hague nuclear waste reprocessing plant. *Brit J Cancer* 87 (2002) 740-745
- BUND Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.: BUND-Stellungnahme zum Entwurf des Strahlenschutzgesetzes, Berlin 24.März 2017; Bundestag Ausschussdrucksache 18 (16) 539-6 zur Anhörung am 27.03.2017; www.strahlenschutz-gesellschaft.de
- BUND Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. „Strahleninduzierte Fehlbildungen: Aufruf zu besserem Strahlenschutz unserer Nachkommen. Das Geburtenregister Mainzer Modell muss weitergeführt werden!“ 18.09.2019a
- BUND Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.: Fehlbildungen bei Neugeborenen erfordern bundesweite Erfassung nach Muster des Mainzer Modells. Pressemitteilung vom 26.09.2019b
- Dannheim B: Retrospektive Dosisermittlung bei Kindern. In Heinemann G, Pfob H (Hrsg.): *Strahlenbiologie und Strahlenschutz*. 28. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz, Hannover 23.-25. Okt. 1996, S. 172-176
- Demoury C, De Smedt T, De Schutter H, Sonck M, Van Damme N, Bollaerts K, Molenberghs G, Van Bladel L, Nieuvenhuysen V: Thyroid cancer incidence around the Belgian nuclear sites, 2000-2014. *Int J Environ Res Public Health* 14 (2017) 988
- Demuth M: *Leukämiemorbidity bei Kindern und Jugendlichen in der Umgebung des Kernkraftwerks Würgassen*. 1. Aufl. Kassel, Eigenverlag 1988
- Demuth M: *Leukämiemorbidity bei Kindern und Jugendlichen in der Umgebung des Kernkraftwerks Würgassen*. 2. überarb. Aufl. Kassel, Eigenverlag 1989
- Demuth M: Leukämieerkrankungen bei Kindern in der Umgebung von Atomanlagen. In Köhnlein W, Kuni H, Schmitz-Feuerhake I (Hrsg.) *Niedrigdosisstrahlung und Gesundheit*. Berlin, Springer Verlag 1990: 127-135

- Deutscher Bundestag, 18. Wahlperiode, Drucksache 18/12162 v. 26.04.2017. Entschließungsantrag von Abgeordneten und Fraktion der Linken zu „Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung“.
- Deutscher Bundestag, 19. Wahlperiode, Drucksache 19/11294 v. 01.07.2019. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Sylvia Kotting-Uhl, Beate Müller-Gemmeke, Dr. Bettina Hoffmann, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN; Wismut-Uranabbau und dadurch bedingte Erkrankungen ehemaliger Arbeiter
- Dickinson HO, Parker I: Leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in children of male Sellafield radiation workers. *Int J Cancer* 99 (2002) 437-444
- Dieckmann H, Schmitz-Feuerhake I: Die Kieler Hausstaubuntersuchung: versäumte Aufklärung. *Strahlentelex* Nr. 332-333 v. 2.11.2000, 2-5
- Doll R, Wakeford R: Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Brit J Radiol* 70 (1997) 130-139
- Eigenwillig GG, Etenhuber E. (Hrsg.): Strahlenexposition und strahleninduzierte Berufskrankheiten im Uranbergbau am Beispiel Wismut. Fachverband für Strahlenschutz e.V., TÜV-Verlag, Köln 2000
- Eigenwillig GG: Radon und Radon-Zerfallsprodukte im Uranerzbergbau der WISMUT – Ermittlung von Exposition, zusätzlichen Randbedingungen und Verbesserungen. *Zbl Arbeitsmed* 54 (2004) 420-429.
- Eigenwillig GG: Fehlerhafte Ermittlung und Zuordnung von Expositionswerten für Hauer in den Objekten 02, 03 und 09 der WISMUT in den Jahren 1946 bis 1976. *Zbl Arbeitsmed* 57 (2007) 375-390
- Eigenwillig GG: Abgeschätzte Strahlenexposition für unter Tage Beschäftigte der WISMUT. *Ronneburger Strahlentelex* Ausgabe 02/2022, S. 3-7 www.kirchengemeinde-ronneburg.de
- Epidemiol. Krebsregister NRW: Ist die Zahl der Krebserkrankungen im Umfeld des THTR erhöht? Bericht der Epidemiologische Krebsregisters NRW gGmbH an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Münster, Okt. 2013
- Frentzel-Beyme R, Schmitz-Feuerhake I, Wolff R: Non Hodgkin-Lymphome bei strahlenexponierten Arbeitnehmern. Fallbericht aus Deutschland. *Zbl Arbeitsmed* 70 (2020) 193-195
- Gardner MJ, Snee MP, Hall AJ, Powell AJ, Downes S, Terrell JD: Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *Brit Med J* 1990; 300: 423-429
- Grant EJ, Brenner A, Sugiyama H, Sakata R, Sadakane A, Utada M, Cahoon EK, Milder, CM, Soda M, Cullings HM, Preston DL, Mabuchi K, Ozasa K: Solid cancer incidence among the Life Span Study of atomic bomb survivors: 1958-2009. *Radiat Res* 2017; 187: 513-537
- Greiser E, Hoffmann W: Kommentare zur Fall-Kontrollstudie Niedersachsen 1995, Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin (BIPS), Bremen, März 1996
- Grosche B, Hinz G, Tsachavidis C, Kaul A: Analyse der Leukämieerkrankung in Bayern in den Jahren 1976-1981. Teil I Grundlagen, Methodik und medizinische Aspekte. Neuherberg, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, 1987a
- Grosche B, Hinz G, Tsachavidis C, Kaul A: Analyse der Leukämieerkrankung in Bayern in den Jahren 1976-1981. Teil II Risikofaktoren, regionale Verteilung und epidemiologische Aspekte. Neuherberg, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, 1987b
- Grosche B, Kreuzer M, Kreisheimer M et al: Lung cancer risk among German male uranium miners: a cohort study, 1946-1998. *Br J Cancer* 95 (2006) 1280-1287.

- Hoffmann W: Inzidenz maligner Erkrankungen bei Kindern und Jugendlichen in der Region Ellweiler, Rheinland-Pfalz. Epidemiologie u. biologische Dosimetrie zur Ermittlung möglicher Belastungspfade. Diss. Fachbereich Humanmedizin, Philipps-Universität Marburg 17.06.1993
- Hoffmann W: Review and discussion of epidemiologic evidence for childhood leukemia clusters in Germany. In Schmitz-Feuerhake I, Schmitz M (Eds.) Radiation Exposures by Nuclear Facilities – Evidence of the Impact on Health. Int. Workshop at the University of Portsmouth 1996, Proceedings edited by Gesellschaft für Strahlenschutz e.V., p. 86-117
- Hoffmann W: Leiharbeiter in deutschen Atomkraftwerken gehören zur am höchsten strahlenbelasteten Berufsgruppe. Strahlentelex N. 299-293, 4.03.1999, S. 1-3
- Hoffmann W, Kranefeld A, Schmitz-Feuerhake I: Radium-226-contaminated drinking water: hypothesis on an exposure pathway in a population with elevated childhood leukemia. Environ Health Persp Suppl Vol 101 (Suppl 3) 1993: 113-115
- Hoffmann W, Kuni H, Ziggel H: Leukaemia and lymphoma mortality in the vicinity of nuclear power stations in Japan, 1973-1987. Letter to the Editor. J Radiol Prot 16 (1996) 213-215
- Hoffmann W, Schmitz-Feuerhake I: How radiation-specific is the dicentric assay? J Expo Anal Environ Epidemiol 9 (1999)113-33 doi: 10.1038/sj.jea.7500008. PMID: 10321351
- Hoffmann W, Terschueren C, Richardson DB: Childhood leukemia in the vicinity of the Geesthacht nuclear establishments near Hamburg, Germany. Environ Health Perspect 2007; 115: 947-52
- IAOMIT International Academy of Oral Medicine and Toxicology. News 1/09/2007 (USA) The Doll-Hoover-Douglass connections. By Chris Neurath
- ICRP, International Commission on Radiological Protection. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66, Annals of the ICRP, 24, No. 1-3. 1994
- ICRP, International Commission on Radiological Protection: Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. Annals of the ICRP 33 (2003) No.1-2
- ICRP, International Commission on Radiological Protection: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP-Publication 103, Ann ICRP 37 Nos. 2-4 (2008)
- Iwasaki T, Hishizawa K, Murata M: Leukaemia and lymphoma mortality in the vicinity of nuclear power stations in Japan, 1973-1987. J Radiol Prot 15 (1995) 271-288
- Jacobi I.: Jacobi W, Henrichs K, Barclay D 1992. Verursachungs-Wahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch die berufliche Strahlenexposition von Uran-Bergarbeitern der WISMUT AG. GSF-Bericht S-14/92
- Jacobi II: Jacobi W, Roth P: Risiko und Verursachungs-Wahrscheinlichkeit von extrapulmonalen Krebserkrankungen durch die berufliche Strahlenexposition von Beschäftigten der ehemaligen WISMUT AG. Oberschleißheim 1995. Forschungsbericht im Auftrag des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaften der Feinmechanik u. Elektrotechnik sowie der chem. Industrie (Herausg.)
- Jöckel K-H, Greiser E, Hoffmann W et al: Epidemiologische Qualitätsprüfung der KiKK-Studien im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS). Universitätsklinikum Essen, Zentrum für Klinische Studien Essen (ZSKE) 2008
- Johnson KC, Rouleau J: Tritium releases from the Pickering nuclear generating station and birth defects and infant mortality in nearby communities 1971-1988. A research report prepared for the Atomic Energy Control Board Ottawa, Canada. AECB Project No. 7.156.1, Oct. 1991
- Kaatsch P, Kaletsch U, Krummenauer F, Meinert R, Miesner A, Haaf G, Michaelis J: Case control study on childhood leukemia in Lower Saxony, Germany. Klin Pädiatr 208 (1996) 179-185

- Kaatsch P et al. Deutsches Kinderkrebsregister und Institut für Med. Biometrie, Epidemiologie u. Informatik der Joh. Gutenberg Universität Mainz: Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie). Mainz 2007
- Kaatsch P, Spix C, Jung I, Blettner M: Leukämien bei unter 5-jährigen Kindern in der Umgebung deutscher Kernkraftwerke. *Dtsch Ärztebl* 105/42 (2008) 725-735
- Kafka P: Machen kerntechnische Anlagen krank? In Peter Kafka/Reinhard Welker (Hrsg.) *Biologische Schäden durch kerntechnische Anlagen?* 1. Auflage Okt. 1985. Broschüre erhältlich bei BUND für Umwelt und Naturschutz e.V. Karlsruhe
- Kaletsch U, Haaf G, Kaatsch P, Krummenauer F, Meinert R, Miesner A, Michaelis J: Fallkontrollstudie zu den Ursachen von Leukämie bei Kindern in Niedersachsen. Institut für Med. Statistik u. Dokumentation, Univ. Mainz, Juli 1995. Gefördert durch das Niedersächsische Sozialministerium
- Kalinkin DE, Karpow AB, Takhauov RM, Samoilova Iua, Shiriaeva IV, Oreshin AA: Mortality from cancer of the population living close to a large nuclear power plant. *Vopr Onkol* 60 (2014) 41-46
- Kater H: Erhöhte Leukämie- und Krebsgefahr durch Kernkraftwerke? *Nieders. Ärzteblatt* 20 (1978) 658-659
- Kaul A, Elsässer U, Hinz G, Kossel F, Martignoni M, Nitschke J, Stephan G: Bewertung ausgewählter epidemiologischer Studien an strahlenexponierten Kollektiven. Bundesgesundheitsamt, Institut für Strahlenhygiene, ISH-Heft 51, Neuherberg Dez. 1984
- Kemeny JG. *The President's Commission on the accident at Three Mile Island.* Pergamon Press, 1979
- Kinlen LJ: Evidence for an infective cause of childhood leukaemia; comparison of a Scottish new town with nuclear reprocessing sites in Britain. *Lancet* Dec. 10 (1988)1323-1326
- Kinlen LJ, Balkwill A: Infective cause of childhood leukaemia and wartime population mixing in Orkney and Shetland, UK. *Lancet* 357 (2001) 858
- Kinlen LJ: An examination, with a meta-analysis, of studies of childhood leukaemia in relation to population mixing. *Brit J Cancer* 107 (2012) 1163-1168
- KKW I Michaelis J, Keller B, Haaf G, Kaatsch P: Incidence of childhood malignancies in the vicinity of West German power plants. *Cancer Causes Control* 3 (1992) 255-263
- KKW II Kaletsch U, Meinert R, Miesner A, Hoisl M, Kaatsch P, Michaelis J: Epidemiologische Studien zum Auftreten von Leukämieerkrankungen bei Kindern in Deutschland. Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 1997
- Koerblein A, Fairlie I: French Geocap study confirms increased leukemia risks in young children near nuclear power plants. *Int J Cancer* (2012) Dec 15;131(12):2970-1; author reply 2974-5. doi: 10.1002/ijc.27585. Epub 2012 Sep 1. PMID: 22492475.
- Körblein A, Hoffmann W: Childhood cancer in the vicinity of German nuclear power plants. *Medicine & Global Survival* 6 (1999) 18-23
- Körblein A: Fehlbildungen bei Neugeborenen um bayerische Kernkraftwerke. *Strahlentelex* Nr. 514-515 v. 5.06.2008, S. 1-2
- Körblein A: Fehlbildungen um deutsche Kernkraftwerke. *Strahlentelex* Nr. 560-561 v. 6.05.2010, S.6-10
- Körblein A: Kinderleukämie um Kernkraftwerke: Neue epidemiologische Studie aus Frankreich. *Strahlentelex* Nr. 602-603 v. 2.02.2012, S. 1-3
- Koppisch D, Otten H: Der Beitrag der Berufsgenossenschaften zur "Wismut"-Forschung. *Die BG* 05 (2005) 291-292

- Krestinina IY, Davis F, Ostroumova EV, Epifanova SB, Degteva MO, Preston DL, Akleyev AV: Solid cancer incidence and low-dose-rate radiation exposures in the Techa River Cohort: 1956-2002. *Int. J. Epidemiol.* 36 (2007) 1038-1046
- Kreuzer M, Walsh, L, Schnelzer M et al: Radon and risk of extrapulmonary cancers: results of the German uranium miners' cohort study, 1960-2003. *Br J Cancer* 99 (2008) 1946-1953
- Kreuzer M, Fenske N, Schnelzer M, Walsh, L: Lung cancer risk at low radon exposure rates in German uranium miners. *Br J Cancer* 113 (2015) 1367-1369
- Kreuzer M, Deffner V, Schnelzer M, Fenske N: Mortalität von unter Tage Beschäftigten im früheren Uranerzbergbau. *Dtsch Arztebl Int* 118 (2021) 41-48
- Kuni H: A cluster of childhood leukaemia in the vicinity of the German research reactor Jülich. In Schmitz-Feuerhake I, Schmidt M (Eds.), *Radiation Exposures by Nuclear Facilities*. Gesellschaft für Strahlenschutz e.V., Berlin 1998, p. 251-255
- Kuni H, Schmitz-Feuerhake I: Radiogener Hodenkrebs – Ein systematischer Review. *umg* 35/1 2022, 44-48
- Küppers C, Hahn L, Heinzl V, Weil L. Der Versuchsreaktor AVR: Entstehung, Betrieb, Störfälle. Abschlussbericht der AVR-Expertengruppe. April 2014. www.fz-juelich.de
- Kusmierz R, Voigt K, Scherb H: Is the human sex odds at birth distorted in the vicinity of nuclear facilities? A preliminary geo-spatial-temporal approach. In Greve K, Cremers AB (Eds.) *Proc. 24th Int. Conf. on Informatics for Environmental Protection*, Cologne/Bonn, Germany. EnvironInfo 2010. Shaker Verlag, Aachen 2010, p. 616-626
- Lange F: Unsanierete Altlasten stellen die erfolgreiche Revitalisierung der Uranerzbergbauregion in Ostthüringen in Frage. *Strahlentelex* Nr. 546-547; 1.10.2009, S.1-7
- Lange, Frank: Sonderbeilage: "30 Jahre Sanierung Uranerzbergbau in Sachsen und Thüringen". *Ronneburger Strahlentelex Heft-Nr. 2 s/w Internetausgabe* v. 31.10.2021, S.12-16 www.kirchengemeinde-ronneburg.de
- Lehmann, Frank et al.: Belastung durch ionisierende Strahlung im Uranerzbergbau der ehemaligen DDR. Abschlussbericht zu einem Forschungsvorhaben. Hrsg. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) Sankt Augustin u. Bergbau-Berufsgenossenschaft Dez. 1998, 484 S.
- Levin RJ, De Simone NF, Slotkin JF, Henson BL: Incidence of thyroid cancer surrounding Three Mile Island nuclear facility: the 30-year follow-up. *Laryngoscope* 123 (2013):2064-71 doi: 10.1002/lary.23953. Epub 2013 Jan 31. PMID: 23371046 DOI: 10.1002/lary.23953
- Little MP and 26 authors: Systematic review and meta-analysis of circulatory disease from exposure to low-level ionizing radiation and estimates of potential population mortality risks. *Environ Health Perspect* 120 (2012) 1503-1511
- MacLeod, G.: Some public health lessons from Three Mile Island: a case study in chaos. *Ambio* 10 (1981) 18-22
- Mämpel W, Pflugbeil S, Schmitz R, Schmitz-Feuerhake I.: Unterschätzte Gesundheitsgefahren durch Radioaktivität am Beispiel der Radarsoldaten. *Berichte des Otto Hug Strahleninstituts*, Bericht Nr. 25 (2015) Gesellschaft für Strahlenschutz e.V. www.strahlenschutz-gesellschaft.de
- Mangano JJ, Gould JM, Sternglass EJ, Sherman JD, Brown J, Mc Donnell W: Infant death and childhood cancer reductions after nuclear plant closings in the United States. *Arch Environ Health* 57 (2002) 23-31
- Metzger Reiner: 1.500 Dollar – täglich und heimlich. Weltweit wichtiger britischer Chemieberater kassierte jahrzehntelang Honorar von Monsanto-Firma. *Taz am Wochenende* v. 9.12.2006, Ausgabe 8147
- Möhner M, Stabenow R: Childhood malignancies around nuclear installations in the former GDR. *Medizinische Forschung* 6 (1993) 59-67

Moormann R, Streich J: Kugelhaufenreaktoren – Status nach Erscheinen einer unabhängigen Expertenstudie zum AVR Jülich. *Strahlentelex* Nr. 664-665; 4.09.2014, S. 1-6

Morris JA, Buckler J: Retinoblastoma linked with Seascale. *Brit Med J* 302 (1991) 112

Morris JK, Springett AL, Greenlees R, Loane M, Addor M-C, Arriolo L et al. "Trends in congenital anomalies in Europe from 1980 to 2012". *PLOS One* <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194986> April 5 (2018): 1-18

Morris MS, Knorr RS: Adult leukemia and proximity-based surrogates for exposure to Pilgrim plant's nuclear emissions. *Arch Environ Health* 51 (1996) 266-274

Mürbeth S, Rousarova M, Scherb H, Lengfelder E: Thyroid cancer has increased in the adult populations of countries moderately affected by Chernobyl fallout. *Med Sci Monit* 10 (2004) 300-306

Muller HJ: Über die Wirkung der Röntgenstrahlung auf die Erbmasse. *Strahlentherapie* 55 (1936) 207-224

Napier B: Joint U.S./Russian studies of population exposures resulting from nuclear production activities in the southern Urals. *Health Phys* 106 (2014) 294-304

Nieders. Sozialministerium: Bericht über die Leukämiersterblichkeit in Niedersachsen unter bes. Berücksichtigung der Altersgruppe unter 15 Jahren. Entgegnung zur Behauptung über eine starke Zunahme von Leukämie-Sterbefällen in der Umgebung des Kernkraftwerkes Lingen o.O., 1980

O'Donnell RG, Mitchell PI, Priest ND, Strange L, Fox A, Henshaw DL, Long SC: Variations in the concentration of plutonium, strontium-90 and total alpha-emitters in human teeth collected within the British Isles: *Science Total Environment* 201 (1997) 235-243

Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A, Kasagi F, Soda M, Grant EJ, Sakata R, Sugiyama H, Kodama K.: Studies of the mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950-2003: an overview of cancer and non-cancer diseases. *Radiat Res* 177 (2012) 229-243

Paquet F, Bailey MR, Leggett RW, Harrison JD: Assessment and interpretation of internal doses: uncertainty and variability. *Annals of the ICRP* 45 (1 Suppl.) June 2016: 202-214

Pierce DA, Preston DL: Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res* 154 (2000) 178-186

Pobel D, Viel J-F: Case-control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: the environmental hypothesis revisited. *Brit M J* 314 (1997) 101-106

Prindull G, Demuth M, Wehinger H: Cancer morbidity rates of children from the vicinity of the nuclear power plant of Würgassen (FRG). *Acta Haematol* 90 (1993) 90-93

Queisser-Luft A, Wiesel A, Kaiser M, Stolz G, Mergenthaler A, Spix C: Epidemiologische Studie zu angeborenen Fehlbildungen in der Umgebung deutscher Leistungsreaktoren. Bundesamt für Strahlenschutz 2010 (KuKK-Studie)

Queisser-Wahrendorf A, Wiesel A, Stolz G: Fehlbildungen – Häufigkeiten und Risikofaktoren. Aktuelle Daten aus dem Geburtenregister Mainzer Modell (MaMo). *Kinder- und Jugendarzt* 47, Nr.10/16 (2016) 668-672

Rage E, Richardson PA, Demers M, Do M, Fenske M, Kreuzer M et al. PUMA: pooled uranium miners analysis: cohort profile. *Occup Environ Med* 77 (2020) 194-200

Report Mainz 2001: laut der Bremer Zeitung Weserkurier vom 29.05.2001.

Richardson DB et al: Positive associations between ionizing radiation and lymphoma mortality among men. *Am J Epidemiol* 169 (2009) 969-976

Richardson DB, Cardis E, Daniels RD et al.: Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS).

BMJ 351 (2015)

<http://www.bmj.com/content/bmj/351/bmj.h5359.full.pdf>

Roman E, Doyle P, Maconochie N, Davies G, Schmitz PG, Beral V: Cancer in children of nuclear employees: report on children aged under 25 years from nuclear industry family study. *Brit Med J* 318 (1999) 1443-1450

Ron E, Kleinerman RA, Boice Jr. JD, LiVolsi VA, Flannery JT, Fraumeni Jr. JF: A population-based case-control study of thyroid cancer. *JNCI* 79 (1987) 1-12

Ron E, Lubin JH, Shore RE, Mabuchi K, Modan B, Pottern LM, Schneider AB, Tucker MA, Boice JD: Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiat Res* 178 (2012) AV43-AV60

Roy, MA: Reliability of dose coefficients calculated with the respiratory tract model of the ICRP. *Radiat Prot Dos* 79 (1998) 237-240

Scherb H, Voigt K, Kusmierz R: Ionizing radiation and the human gender proportion at birth – A concise review of the literature and complementary analyses of historical and recent data. *Early Hum. Dev.* 91 (2015) 841-850

Schmidt M, Ziggel H: Recht oder Unrecht ist keine Frage an die Wissenschaft. Elisabeth Reay und Vivian Hope gegen British Nuclear Fuels plc. *Strahlentelex* Nr. 178-179; 2.06.1994, S. 1-6

Schmitz-Feuerhake I, Dannheim B, Heimers A, Oberheitmann B, Schröder H, Ziggel H: Leukemia in the proximity of a German boiling water nuclear reactor: evidence of population exposure by chromosome studies and environmental radioactivity. *Environ Health Persp* 105/Suppl.6 (1997)1499

Schmitz-Feuerhake I: Immissionsrichtwerte der atomrechtlichen Bestimmungen. In Stevenson 2001 (s. unten) Anhang B 2

Schmitz-Feuerhake I, von Boetticher H, Dannheim B, Götz K, Heimers A, Hoffmann W, Schröder H.: Estimation of X ray overexposure in a childhood leukaemia cluster by means of chromosome aberration analysis. *Radiat Prot Dosim* 2002; 98: 291-297

Schmitz-Feuerhake I., Mietelski, J.W., Gaca, P.: Transuranic isotopes and ⁹⁰Sr in attic dust of the vicinity of two nuclear establishments in northern Germany. *Health Physics* 84 (2003) 599-607

Schmitz-Feuerhake I, Dieckmann H, Hoffmann W, Lengfelder E, Pflugbeil S, Stevenson AF: The Elbmarsch leukemia cluster: are there conceptual limitations in controlling immission from nuclear establishments in Germany? *Archives Environmental Contamination Toxicology* 89 (2005) 589-601

Schmitz-Feuerhake I: Forschung am Problem vorbei. *Strahlentelex* Nr. 470-471; 3.08.2006, S.1-9

Schmitz-Feuerhake I, Hoffmann W: Das Sittenser Leukämiecluster – Aufklärung ohne Konsequenzen. *KINDER- UND JUGENDARZT* 38 (2007) 816-818

Schmitz-Feuerhake I, Pflugbeil S: Unterschätzte Gesundheitseffekte durch inkorporierte Radioaktivität und die Folgen des Uranbergbaus der SDAG WISMUT. *Ärzteblatt Thüringen* 7-8 (2008) 413-418

Schmitz-Feuerhake I, Pflugbeil S: Lungenfibrose bei Wismut-Bergleuten. *Ärzteblatt Thüringen* 10 (2010) 574-578

Schmitz-Feuerhake I, Frentzel-Beyme R, Wolff R: Berufskrankheiten durch ionisierende Strahlen – Erfahrungen mit der Anerkennungspraxis in Deutschland. *Umwelt Medizin Gesellschaft* 34/2 2021a, 34-51 (auch Open Access)

Schmitz-Feuerhake I, Frentzel-Beyme R, Wolff R: Non-Hodgkin lymphomas and ionizing radiation: case report and review of the literature. *Ann Hematol* 08 Dec 2021b online
<https://doi.org/10.1007/s00277-021-04729-z>

Seithe S: Hat das stillgelegte AKW Hamm-Uentrop seine Umwelt beeinflusst? Schüler experimentieren 2012. Von Samantha Seithe (10 Jahre, 7. Klasse) Betreuer: Achim Hucke

- Sermage-Faure C, Laurier D, Goujon-Bellec S, Chartier M, Guyot-Goubin A, Rudant J, Hémond D, Chavel J: Childhood leukemia around French nuclear power plants -the Geocap study, 2002-2007. *Int J Cancer* 2012 Sep 1; 131 (5):E769-80. doi: 10.1002/ijc.27425. Epub 2012 Feb 28
- Spix C, Schmiedel S, Kaatsch P, Schulze-Rath R, Blettner M.: Case-control study on childhood cancer in the vicinity of nuclear power plants in Germany 1980-2003. *Eur J Cancer* 44 (2007) 275-284
- Spycher BD, Feller M, Zwahlen M, Röösl M, von der Weid NX, Hengartner H, Egger M, Kuehni CE: Childhood cancer and nuclear power plants in Switzerland: a census-based cohort study. *Int J Epidemiol* 40 (2011) 1247-1260. doi: 10.1093/ijc/dyr115. Epub 2011 Jul 12
- SSK Strahlenschutzkommission: Comments on the 2006 Draft of the ICRP Recommendations. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 209. Sitzung der SSK am 06.09.2006. In: Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 2006. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 61, H. Hoffmann GmbH-Fachverlag, Berlin 2007
- SSK Strahlenschutzkommission: Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie). Berichte der SSK des BMU, Heft 57 (2008). H. Hoffmann GmbH-Fachverlag, Berlin
- SSK Strahlenschutzkommission: Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor (DDREF). Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung, verabschiedet in der 268. Sitzung der SSK am 13.02.2014. Banz AT 03.05.2016 B4
- SSK Strahlenschutzkommission: Ursachenforschung zu Leukämien bei Kindern und Jugendlichen. Empfehlung der SSK, verabschiedet auf der 288. Sitzung der SSK am 19./20. Juni 2017
- SSK Strahlenschutzkommission: Grundlagen zur Begründung von Grenzwerten für beruflich strahlenexponierte Personen. Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung. 7. Sept. 2018
- Stabenow, R. 2007. Krebsrisiko in Gemeinden des ehemaligen Uranbergbaus der Wismut. Gera, 4. Juli, Veranstaltung von IPPNW und Tumorzentrum im Waldklinikum: „Krebsrisiko durch den Wismut-Uranerzbergbau“
- Stather JW: Childhood leukaemia near nuclear sites: fourteenth report of the Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE). *Radiat Prot Dosimetry* 147 (2011) 351-354
- Statistisches Landesamt Hamburg. Hamburger Krebsdokumentation 1972-1974. Heft 116 (1976)
- Stein, Bernhard: Krebsmortalität von Kindern unter 15 Jahren, Säuglingssterblichkeit und Totgeburtenrate in der Umgebung des AKW Lingen. Arbeitsgruppe Umweltschutz Berlin e.V., Eigenverlag Berlin 1988
- Stevenson, Abraham FG: Strahlenbiologisches Gutachten zur Ermittlung des Standes wissenschaftlicher Erkenntnisse u. der Verlässlichkeit der Strahlenschutzbestimmungen unter besonderer Berücksichtigung der Belastung durch Radioaktivität in der Umgebung von Kernkraftwerken u. zur Frage der Strahleninduktion kindlicher Leukämien. Auftraggeber: Ministerium für Finanzen und Energie des Landes Schleswig-Holstein. Anhänge B1-C2. Kiel, April 2001
- Stewart A., Webb J, Giles D, Hewitt D: Malignant disease in childhood and diagnostic irradiation *in utero*. *Lancet* 1956;2 :447
- Strahlentelex Nr. 358-359, v. 6.12.2001, S. 9: Seegericht in Hamburg verhandelt Sellafield. www.strahlentelex.de
- Strahlentelex Nr. 706-707, v. 2.6.2016, S. 6: Radioaktivität aus Kugelhaufenreaktor 1986 vorsätzlich freigesetzt. www.strahlentelex.de
- Strahlentelex Nr. 630-631, v. 4.4.2013, S.10: Leiharbeiter in deutschen AKW www.strahlentelex.de

- The Guardian Wed 21 Sep 2011: Scottish nuclear fuel leak 'will never be completely cleaned up'. The Scottish Environment Protection Agency has abandoned its aim to remove all traces of contamination from the north coast seabed. By Rob Edwards
- Tweeddale G: Hero or villain? - Sir Richard Doll and occupational cancer. *Int J Occup Environ Health* 13 (2007) 233-235
- Ulanowski A, Shemiakina E, Güthlin D, Becker J, Preston D, Apostoaei AJ, Hoffman FO, Jacob P, Kaiser JC, Eidemüller ME: ProZES: the methodology and software tool for assessment of assigned share of radiation in probability of cancer occurrence. *Radiat Environ Biophys* 59 (2020)
- Umweltministerium NRW, Pressemitteilung (131128) v. 18.11.2013: Umweltministerium legt Bericht zum möglichen Zusammenhang zwischen Krebserkrankungen und dem ehemaligen Reaktor THTR Hamm vor. Auswertung des Epidemiologischen Krebsregisters NRW sieht keinen Einfluss auf Krebserkrankungen in der umliegenden Bevölkerung.
- UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annex. United Nations, New York 1993
- UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Hereditary Effects of Radiation. UNSCEAR 2001 Report to the General Assembly, United Nations, New York 2001
- UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008, Report to the General Assembly with Scientific Annexes Vol. II, Annex D (Health effects due to radiation from the Chernobyl accident) Corrigendum to Sales No.E.11.IX.3, May 18, Page 183, § D251, United Nations New York, 2011
- Uranatlas. Daten und Fakten über den Rohstoff des Atomzeitalters. Nuclear Free Future Foundation, Rosa-Luxemburg-Stiftung, Umweltstiftung Greenpeace, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland und .ausgestrahlt (Hrsg.) Berlin 2. Aufl. April.2022, 60 S. www.rosalux.de/uranatlas; www.nuclear-free.com/uranatlas; www.bund.net/uranatlas
- Vakil C, Harvey L: Canadian tritium study misleading to the public. Letter to the Editor, Re: Wanigaratne et al. 2013. *Chronic Diseases Injuries Canada* 34 (2014) 175
- Van Santen F, Irl C, Grosche B, Schoetzau A: Untersuchungen zur Häufigkeit kindlicher bösartiger Neubildungen und angeborener Fehlbildungen in der Umgebung bayerischer kerntechnischer Anlagen. Bericht des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) vom Nov.1995.
- Viel, Jean-Francois: La SANTÉ PUBLIQUE ATOMISÉE. Radioactivité et leucémies: les lecons de la Hague. Paris: La Découverte, 1998 (Sciences et société) ISBN 2-7071-2827-9
- Vogel F, Röhrborn G, Schleiermacher E, Schroeder T: Strahlengenetik der Säuger. Thieme, Stuttgart, 1969
- Walraff, Günter: Ganz unten. Mit einer Dokumentation der Folgen. 23. Aufl. 2015. Kiepenheuer & Witsch, Köln
- Walsh L, Tschense A, Schnelzer M, Dufey F, Grosche B, Kreuzer M: The influence of radon exposure on lung cancer mortality in German uranium miners, 1946-2003: *Radiat Res* 173 (2010) 79-80
- Walsh L, Dufey F, Möhner M, Schnelzer M, Tschense A, Kreuzer M: Differences in baseline lung cancer mortality between the German uranium miners cohort and the population of the former German Democratic Republic (1960-2003). *Radiat Environ Biophys* 50 (2011) 21-35
- Wanigaratne S, Holowaty E, Jiang H, Norwood TA, Pietrusiak MA, Brown P: Estimating in relation to tritium exposure from routine operation of a nuclear-generating station in Pickering, Ontario. *Chronic Diseases Injuries Canada* 33 (2013) 247-256

Wassermann O et al. Erkenntnisse der schleswig-holsteinischen Fachkommission Leukämie im Zeitraum 1993-2004 zur Ursache der in der Nahumgebung der Geesthachter Atomanlagen aufgetretenen Leukämiehäufung bei Kindern. Abschlussbericht des Vorsitzenden Univ.-Prof. (em.) Dr. Otmar Wassermann vom 15.09.2004 www.strahlenschutz-gesellschaft.de

Weiss W: Chernobyl thyroid cancer: 30 years of follow-up overview. *Radiat Prot Dosimetry* 182 (2018) 58-61

Wiesel A, Stolz G, Queisser-Wahrendorf A: Evidence for a teratogenic risk in the offspring of health personnel exposed to ionizing radiation?! *Birth Defects Research (Part A)* 106 (2016) 475-479

Wing S, Richardson D, Armstrong D, Crawford-Brown D: A reevaluation of cancer incidence near the Three Mile Island nuclear plant: the collision of evidence and assumptions. *Environ Health Perspect* 105 (1997) 52-57

Wing S: Objectivity and ethics in environmental health science. *Environ Health Persp* 111 (2003) 1809-1818

Wolff R, Frenzel-Beyme R, Schmitz-Feuerhake I: High prevalence of chronic lymphocytic leukemia and B cell lymphomas in nuclear workers after incorporation of alpha emitters. Case report and review of the literature. *RAD Conference Proceedings*, vol.3 (2018) 143-148 <https://rad-proceedings.org/paper.php?id=196>

ZKD Zentrum für Krebsregisterdaten: Krebs in Deutschland für 2013/2014. 11. Aufl. Robert Koch Institut, Berlin 2017 www.gekid.de

ZKD Zentrum für Krebsregisterdaten: Krebs in Deutschland für 2017/2018. 13. Aufl. Robert Koch Institut, Berlin 2021, S. 126 www.gekid.de

Zu den Autor*innen:

Dipl.Phys. Oda Becker, Hannover, unabhängige Expertin für Sicherheit und Risiken bei Atomanlagen. Vorsitzende der BUND Atom- und Strahlenkommission

Prof. Dr.med. Wolfgang Hoffmann, Greifswald, Institut für Community Medicine, Universitätsmedizin Greifswald

Dr.rer.nat. Inge Schmitz-Feuerhake, Hannover, im Ruhestand, Professorin für Experimentelle Physik an der Universität Bremen 1973-2000

Dipl.Phys. Karin Wurzbacher, Starnberg, im Ruhestand, Mitarbeiterin des Umweltinstituts München e.V. bis 2012

Die wissenschaftliche Aus- und Erarbeitung des Papiers erfolgte durch die genannten Autor*innen aus der Atom- und Strahlenkommission (BASK) des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland. Dieses Gremium setzt sich aus vom Bundesvorstand berufenen Wissenschaftler*innen zusammen, die den BUND fachlich beraten.

6. Glossar

Abbrand	die Menge an Wärmeenergie, die pro Masseneinheit in einem Brennelement erzeugt wurde, Einheit Gigawatt-Tage pro Tonne Schwermetall (GWd/t SM)
Alphastrahlen	sind eine Teilchenstrahlung aus Heliumatomkernen (zwei Protonen und zwei Neutronen) und entstehen beim Zerfall von Atomkernen
Anreicherung	in Leichtwasserreaktoren muss das spaltbare Uranisotop U 235 im Isotopengemisch angereichert werden, damit die Kettenreaktion eintreten kann
Aufbereitung	um das Uran aus dem Erz für den Einsatz im Kernreaktor zu gewinnen, muss es chemisch herausgelöst werden
Betastrahlen	sind (negativ geladene) Elektronen, die im Atomkern durch Umwandlung eines Neutrons in ein Proton und ein Elektron entstehen, wobei letzteres den Kern verlässt
Bewetterung	künstliche Belüftung von Bergwerksstollen unter Tage
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz, selbständig wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesumweltministers
BG	Berufsgenossenschaft, Körperschaft öffentlichen Rechts
BKV	Berufskrankheitenverordnung, regelt die durch die Gesetzliche Unfallversicherung (GUV) beschriebenen beruflich bedingten Erkrankungen
Chromosom	das Erbgut jeder Zelle ist in Chromosomen organisiert. Jedes Chromosom umfasst einen bestimmten DNA-Abschnitt
Confounder	Größe, die das Auftreten eines Risikofaktors und den beobachteten Effekt gleichzeitig mitbestimmt
dominant	beim Menschen liegt jedes Gen zweifach vor, diese beiden können sich unterscheiden (Allele). Ein Erbmerkmal, das nur durch ein Gen bestimmt wird, ist dann „dominant“, wenn es sich ausprägt und das zweite Gen keine Rolle spielt (rezessiv)
Downsyndrom	auch „Trisomie 21“, im Erbgut tritt ein zusätzliches Chromosom 21 auf
Druckwasserreaktor	Kernreaktor vom Typ der Leichtwasserreaktoren; erhitztes Wasser steht unter so hohem Druck, dass es nicht verdampfen kann
Embryo	vorgeburtliches Stadium der Frucht zwischen 16. und 60. Tag nach Befruchtung
Epidemiologie	medizinische Wissenschaft, die sich mit der Verteilung von Krankheiten und deren Ursachen und Folgen in der Bevölkerung befasst
Filmdosimeter	Personendosimeter, bei dem ein optischer Film als Maß für die Strahlungsintensität benutzt wird
Fötus	auch „Fetus“, vorgeburtliches Stadium der Frucht zwischen 61. Tag bis zur Geburt
Folgeprodukt,	radioaktives, entsteht, wenn sich ein instabiler Atomkern durch Abstrahlung von Protonen (Alphastrahlen) oder Elektronen (Betastrahlen) in das Isotop eines anderen Elementes umwandelt, das seinerseits instabil ist
Gammastrahlen	hochfrequente elektromagnetische Wellenstrahlung, die beim Zerfall von Atomkernen frei wird

Gen	die auf der DNA verschlüsselte Information liegt im Erbgut in Einheiten vor, die einzelne Informationen für ein bestimmtes Merkmal des Organismus beinhalten. Diese Einheiten werden als „Gene“ bezeichnet.
Gy (Gray)	Einheit der Energiedosis, diese ist definiert als die von der Strahlung absorbierte Energie pro Gewebemasse; 1 Gy = 1 Joule/kg
Halbwertszeit	diejenige Zeit, in der ein radioaktives Isotop bis zur Hälfte seiner Ausgangsmenge zerfällt
in utero	im Uterus (Gebärmutter)
Inkorporation	Aufnahme von Stoffen über den Atemtrakt oder die Speiseröhre (Ingestion) sowie von außen durch die Haut oder durch Verletzungen
Inzidenz	Erkrankungshäufigkeit in einer bestimmten Bevölkerung in einem bestimmten Zeitraum
Isotope	unterschiedliche Atomarten des gleichen chemischen Elements, unterscheiden sich durch die Anzahl der Neutronen im Atomkern
Kernbrennstoff	in Kernkraftwerken eingesetztes Material, das durch Neutronen spaltbare Stoffe wie das Uranisotop 235 oder das Plutoniumisotop 239 enthalten, oder aber das natürliche Thorium 232
Kernreaktor	Einrichtung, mit der sich eine Spaltungskettenreaktion einleiten, aufrechterhalten und steuern lässt. Hauptbestandteile sind die Spaltzone mit dem Kernbrennstoff, das Kühlmittel zur Abführung der erzeugten Wärme, die Regel- und Sicherheitsvorrichtungen und die Strahlenabschirmung
Kritikalität	wird im Reaktor erreicht, wenn die durch Neutronen eingeleitete Kernspaltung ausreicht, um genügend weitere Neutronen freizusetzen, damit der Spaltprozess anhält (Kettenreaktion)
langlebig	ist ein radioaktives Isotop mit einer langen Halbwertszeit
Leichtwasserreaktor	bei diesem Reaktortyp dient normales (leichtes) Wasser als Moderator und Kühlmittel
Leistungsexkursion	ein unkontrollierter Anstieg der Leistung in einem Kernreaktor, der zur Zerstörung führen kann
Letalfaktor	in einem Chromosom induzierte Mutation, die zum Absterben der Zygote führt
Mittelwert	arithmetischer, Summe der Einzelwerte geteilt durch deren Anzahl
Median	auch „geometrisches Mittel“, häufigster Wert in einer Verteilung von Einzelwerten
Moderator	im Kernkraftwerk vorkommender Stoff zur Abbremsung und damit Verringerung der Energie der vorhandenen Neutronen
MOX	Mischoxid aus Uran und Plutonium zur Verwendung als Kernbrennstoff
Natururan	in der Erdkruste vorkommende Isotope des Urans in natürlicher Zusammensetzung
Neutronen	ungeladene Bausteine des Atomkerns
Optisches Dosimeter	zur Direktablesung geeignetes Personendosimeter
perinatal	zwischen dem Geburtsbeginn und dem 7. Lebenstag
Protonen	positiv geladene Bausteine des Atomkerns

Plutonium	nicht natürlich vorkommendes schweres Element, das im Reaktor durch Beschuss von Uran mit Neutronen entsteht (erbrütet wird)
Präimplantationsphase	vorgeburtliches Stadium, Entwicklung der befruchteten Eizelle bis zur Einnistung in die Gebärmutter
Radon (Rn)	gasförmiges Folgeprodukt in der Zerfallsreihe von Uran (U) 238 oder Thorium (Th) 232 ; das natürlich am meisten vorkommende Isotop Rn 222 (Halbwertszeit 3,8 Tage) entsteht direkt aus Radium 226 (Halbwertszeit 3600 Jahre) und ist ein Alphastrahler
rezessiv	beim Menschen liegt jedes Gen zweifach vor, diese beide können sich unterscheiden (Allele). Ein Erbmerkmal, das nur durch ein Gen bestimmt wird, ist dann „rezessiv“, wenn es sich nicht ausprägt, weil das zweite Gen dominiert
RR	relatives Risiko: Anzahl beobachtete Fälle/Anzahl erwartete Fälle
Siedewasserreaktor	Kernreaktor vom Typ der Leichtwasserreaktoren
SIR	standardised incidence rate: Verhältnis der altersstandardisierten Erkrankungs-raten in Untersuchungsgruppe und Kontrollgruppe
Spaltprodukt	durch Kernspaltung mit Neutronen entstandenes meist radioaktives Isotop
SMR	standardised mortality rate: Verhältnis der altersstandardisierten Mortalitätsra-ten von Untersuchungsgruppe und Kontrollgruppe
SSK	deutsche Strahlenschutzkommission, Beraterin des Bundesumweltministeriums
Sv (Sievert)	Einheit der Dosis durch radioaktive Bestrahlung beim Menschen als Maß für die biologische Wirkung; sie wird gebildet aus der Energiedosis in Gy, gewichtet (multipliziert) mit einem Faktor w_R , der die biologische Wirkung der jeweils be-trachteten Strahlenart im Vergleich zu Röntgenstrahlung bewertet: $1 \text{ Sv} = 1 w_R \times \text{Gy}$
Transuran	künstlich erzeugtes Element mit einer Protonenanzahl n oberhalb derjenigen von Uran ($n = 92$)
Tritium	radioaktives Isotop des Wasserstoffs, Betastrahler, Atomkern besteht aus einem Proton und zwei Neutronen
Vertrauensbereich	Unsicherheitsbereich bei einem durch ein statistisches Verfahren ermittelten Er-gebnisses; er gibt den Wertebereich an, in dem das Ergebnis nach Wahr-scheinlichkeit z. B. zu 90, 95 oder 99% liegt
Verursachungswahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit dafür, dass ionisierende Strahlung die Ur-sache für die Erkrankung ist
Wiederaufarbeitung	von abgebrannten Brennelementen aus Kernkraftwerken, dabei werden un-verbrauchtes Uran und entstandenes Plutonium abgetrennt
Zygote	befruchtete Eizelle